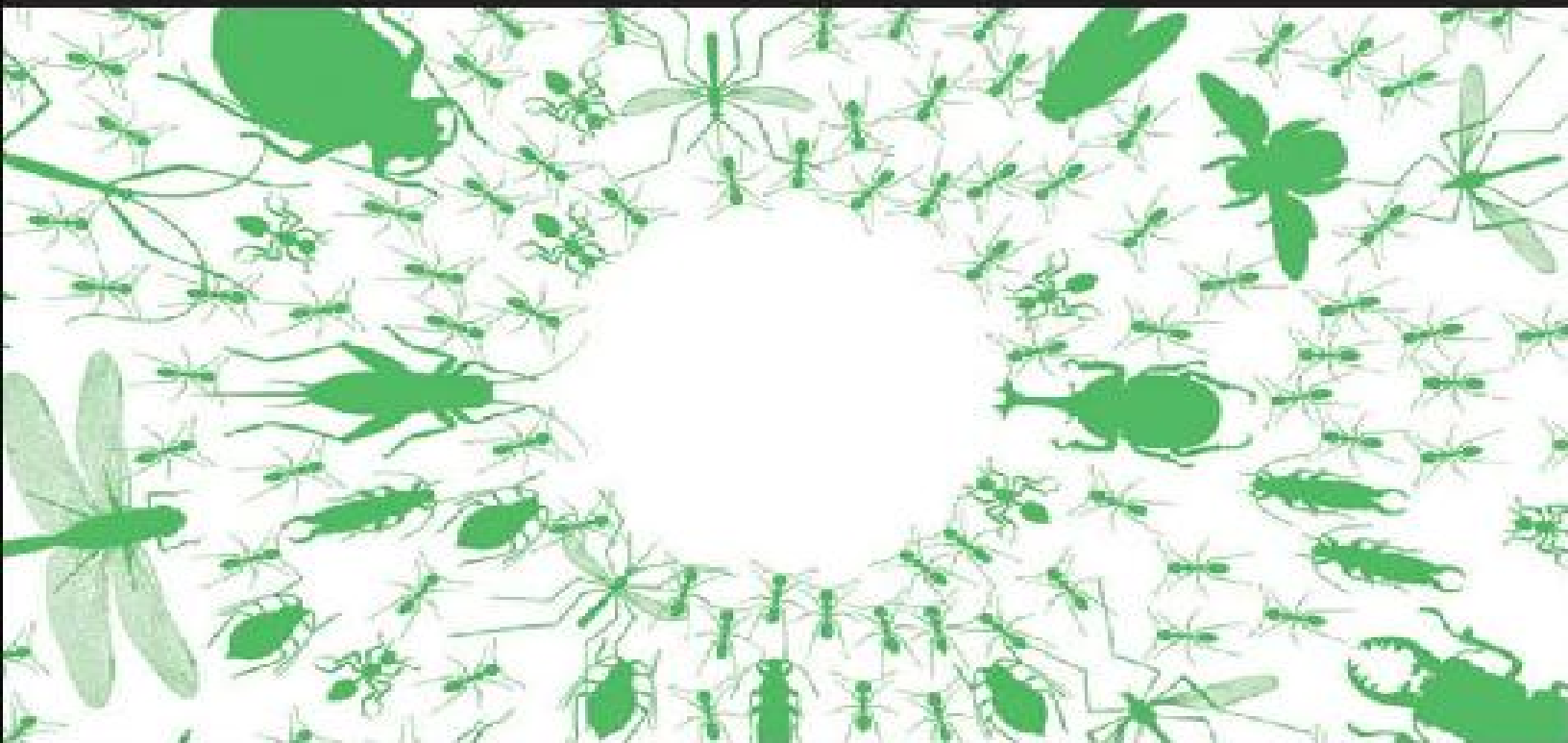
En un metro de bosque

Un año observando la naturaleza

DAVID GEORGE HASKELL

TURNER NOEMA



En un metro de bosque

Un año observando la naturaleza

DAVID GEORGE HASKELL

TRADUCCIÓN DE GUILLEM USANDIZAGA



COLECCIÓN NOEMA

Título:
En un metro de bosque. Un año observando la naturaleza
© David George Haskell, 2012
Edición original en inglés: *The Forest Unseen*, Viking, 2012

De esta edición:
© Turner Publicaciones S.L., 2014
Rafael Calvo, 42
28010 Madrid
www.turnerlibros.com
Primera edición: febrero de 2014

De la traducción: © Guillem Usandizaga, 2014

ISBN: 978-84-16142-72-9

Diseño de la colección:
Enric Satué
Ilustración de cubierta:
Enric Jardí

La editorial agradece todos los comentarios y observaciones:
turner@turnerlibros.com

Reservados todos los derechos en lengua castellana. No está permitida la reproducción total ni parcial de esta obra, ni su tratamiento o transmisión por ningún medio o método sin la autorización por escrito de la editorial.

ÍNDICE

Prólogo
1 de enero Asociaciones
17 de enero El regalo de Kepler
21 de enero El experimento
30 de enero Plantas de invierno
2 de febrero Unas huellas
16 de febrero El musgo
28 de febrero La salamandra
13 de marzo ‘Hepatica’
13 de marzo Caracoles
25 de marzo Las efímeras primaverales
2 de abril La motosierra
2 de abril Flores
8 de abril El xilema
14 de abril La mariposa nocturna
16 de abril Aves al amanecer
22 de abril Semillas andantes
29 de abril El terremoto
7 de mayo El viento
18 de mayo La herbivoría
25 de mayo Ondulaciones
2 de junio La búsqueda
10 de junio Helechos
20 de junio Una maraña
2 de julio Hongos
13 de julio Luciérnagas

27 de julio Un rayo de sol
1 de agosto El tritón y el coyote
8 de agosto La estrella de tierra
26 de agosto El saltamontes longicornio
21 de septiembre La medicina
23 de septiembre La oruga
23 de septiembre El buitre
26 de septiembre Migrantes
5 de octubre Oleada de alarmas
14 de octubre Una sámara
29 de octubre Caras
5 de noviembre La luz
15 de noviembre El esparvero chico
21 de noviembre Ramitas
3 de diciembre La hojarasca
6 de diciembre Bestiario subterráneo
26 de diciembre Las copas de los árboles
31 de diciembre Observar

Epílogo

Agradecimientos
Bibliografía

Para Sarah.

PRÓLOGO

Dos monjes tibetanos se acercan a una mesa con unos embudos de latón en las manos. De los extremos de los embudos cae arena de colores sobre la mesa. Cada tira delgada añade una línea al mandala que se va formando. Los monjes trabajan desde el centro de la pauta circular, siguiendo líneas de tiza que marcan las formas básicas y rellenando después cientos de detalles de memoria.

En el centro hay una flor de loto, el símbolo de Buda, rodeada de un palacio ricamente adornado. Las cuatro puertas del palacio dan a círculos concéntricos de símbolos y colores que representan los pasos en el camino a la iluminación. El mandala no estará acabado hasta dentro de varios días, luego se barrerá y las arenas revueltas se arrojarán a una corriente de agua. El mandala es importante en varios sentidos: la concentración que exige elaborarlo, el equilibrio entre complejidad y coherencia, los símbolos que contiene el dibujo, y su carácter efímero. Ninguna de estas cualidades determina sin embargo la finalidad última de la construcción del mandala. El dibujo es una recreación del camino de la vida, del cosmos y de la iluminación de Buda. Todo el universo se observa a través de un pequeño círculo de arena.

Un grupo de estudiantes universitarios norteamericanos juegan a tirar de la soga cerca de aquí y alargan los cuellos como garzas a medida que ven nacer el mandala. Están inusitadamente callados, tal vez absortos en el trabajo o aquietados por la otredad de la vida de los monjes. Los estudiantes visitan el mandala al comienzo de su primera clase práctica de ecología. La clase continuará en un bosque cercano donde los estudiantes crearán su propio mandala tirando un aro al suelo. Estudiarán el círculo de tierra durante el resto de la tarde mediante la observación del funcionamiento de la comunidad del bosque. Una traducción de la palabra sánscrita *mandala* es

"comunidad", así que los monjes y los estudiantes se dedican al mismo trabajo: contemplar un mandala y afinar la mente. El paralelo es más profundo que esta coincidencia de lenguaje y simbolismo. Creo que todas las historias ecológicas del bosque están presentes en una superficie del tamaño de un mandala. De hecho, puede que la verdad del bosque se nos revele con más claridad y viveza a través de la contemplación de un pequeño espacio de lo que lo haría si nos calzáramos botas de siete leguas y cubriéramos un continente sin descubrir demasiado.

La búsqueda de lo universal en lo infinitesimalmente pequeño es un tema presente en la mayoría de culturas. Nos guía la metáfora del mandala tibetano, pero también puede encontrarse un contexto para esta obra en la cultura occidental. El poema de William Blake "Augurios de la inocencia" lleva el tema al límite al reducir el mandala a una partícula de tierra o una flor: "Ver un mundo en un grano de arena / y un cielo en una flor silvestre." El deseo de Blake se basa en la tradición del misticismo occidental que tiene su máximo exponente en los contemplativos cristianos. Para san Juan de la Cruz, san Francisco de Asís o Juliana de Norwich, un calabozo, una cueva o una minúscula avellana podían servir de lupas con las que experimentar la realidad primordial.

Este libro es la respuesta de un biólogo al reto del mandala tibetano, de los poemas de Blake y de la avellana de Juliana. ¿Podemos ver todo el bosque a través de una pequeña ventana contemplativa de hojas, piedras y agua? He intentado encontrar la respuesta a esa pregunta, o el principio de una respuesta, en un mandala hecho de bosque primario en las colinas de Tennessee. El mandala del bosque es un círculo de un diámetro algo superior a un metro, el mismo tamaño del mandala dibujado y barrido por los monjes. Escogí la ubicación del mandala durante un paseo sin rumbo fijo por el bosque, al encontrarme una piedra en la que uno se podía sentar. La superficie enfrente de la piedra se convirtió en el mandala, un lugar promisorio que no había visto antes y que en su mayor parte se ocultaba bajo la austera vestimenta del invierno.

El mandala se encuentra en una ladera arbolada del sureste de Tennessee. Cien metros cuesta arriba, un acantilado de arenisca señala el extremo occidental de la meseta de Cumberland. El terreno desciende del acantilado en escalones que alternan terrazas con pendientes abruptas hasta llegar al suelo del valle trescientos metros más abajo. El mandala está enclavado entre las peñas de la terraza más alta. Una gran variedad de árboles adultos de hoja caduca cubre toda la ladera: robles, arces, tilos americanos, nogales americanos, tuliperos y una docena de especies más. Por el suelo del bosque hay rocas esparcidas que son el producto de la erosión del acantilado y representan un considerable peligro para los tobillos, y en muchos lugares el terreno no es llano, sino que está formado por piedras caídas y agrietadas recubiertas de un mantillo de hojas.

El terreno empinado y difícil ha protegido el bosque. En la falda de la montaña, la tierra llana y fértil del suelo del valle está relativamente libre de estorbos rocosos y se desbrozó para pastos y cultivos, primero por parte de los indios americanos y después por parte de los colonos del Viejo Mundo. Algunos de estos últimos intentaron cultivar la ladera de la montaña a finales del siglo XIX y principios del XX, una tarea tan ardua como infructuosa.

Las destilerías ilegales proporcionaban ingresos adicionales a esos agricultores de subsistencia, y el nombre de esta ladera de la montaña, Shakerag Hollow, procede de la forma en que los vecinos llamaban a los destiladores agitando un trapo (*rag*, en inglés) que después se dejaba en el suelo con algo de dinero. Al cabo de unas horas, en lugar del dinero había una jarra de aguardiente. Hoy en día el bosque ha recuperado los pequeños claros que se habían dedicado a la agricultura y los emplazamientos de las destilerías, aunque los montones de piedras, las viejas tuberías, las tinas herrumbrosas y las extensiones de narcisos delatan la localización de los antiguos claros. Buena parte del bosque restante se taló para conseguir madera y combustible, especialmente a principios del siglo XX. Unas pocas bolsas de bosque se conservaron intactas, protegidas por la dificultad de acceso, la suerte o los caprichos de los terratenientes. El mandala se encuentra en una zona de ese tipo,

unas seis hectáreas de bosque primario insertadas en miles de hectáreas de bosque que, si bien se taló hace tiempo, hoy en día es suficientemente maduro para sustentar buena parte de la riqueza ecológica y de la importante diversidad biológica que caracterizan los bosques de montaña de Tennessee.

Los bosques primarios son desordenados. A tiro de piedra del mandala veo media docena de árboles caídos de buen tamaño en varias fases de descomposición. Los troncos podridos alimentan a miles de especies de animales, hongos y microbios. Los árboles que se vienen abajo dejan huecos en el dosel arbóreo y dan lugar a la segunda característica de los bosques primarios: un mosaico de edades de árboles, en el que grupos de árboles jóvenes crecen al lado de adultos de tronco grueso. Un *Carya glabra* con un tronco de un metro de ancho en la base crece justo al oeste del mandala, muy cerca de un montón de arces jóvenes instalados en el hueco que ha dejado libre la caída de un enorme nogal americano. Detrás de la piedra en la que estoy sentado hay un arce azucarero de mediana edad cuyo tronco es tan ancho como mi torso. Este bosque cuenta con árboles de todas las edades, un signo de la continuidad histórica de la comunidad vegetal.

Me siento cerca del mandala en un bloque plano de arenisca. Las reglas del mandala son sencillas: visitarlo a menudo y observar el transcurso de un año; guardar silencio, molestar lo mínimo; no matar, no mover de sitio a los animales y no cavar en el mandala ni arrastrarse por él. Servirse prudentemente del tacto de vez en cuando es suficiente. No sigo un horario fijo en las visitas, pero hago guardia aquí muchas veces por semana. Este libro cuenta los acontecimientos del mandala según van ocurriendo.

1 DE ENERO

ASOCIACIONES

El año nuevo empieza con el deshielo, y el olor húmedo y denso del bosque me inunda el olfato. La humedad ha hinchado el manto de hojas caídas que cubre el suelo y suculentos aromas foliares invaden el aire. Dejo el sendero que baja por la ladera del bosque y rodeo una peña del tamaño de una casa, erosionada y llena de moho. Al otro lado de una hondonada poco profunda en la ladera de la montaña veo mi punto de referencia: una roca alargada que sobresale de la hojarasca como una pequeña ballena. Ese bloque de arenisca delimita un borde del mandala.

Solo me lleva unos minutos atravesar el pedregal rocoso y llegar a la roca alargada. Paso junto a un gran nogal americano y apoyo la mano en las tiras grises de la corteza: el mandala está a mis pies. Lo rodeo hasta el otro lado y me siento en una piedra plana. Después de una pausa para inspirar el aire cargado de aromas, me pongo a observar.

La hojarasca presenta manchas marrones. Unos pocos tallos desnudos de calicanto y un fresno joven se yerguen en el centro del mandala hasta la altura de la cintura. El color de cuero apagado de esas hojas en descomposición y esas plantas aletargadas se eclipsa ante el brillo de las rocas que enmarcan el mandala. Esas piedras son pedazos del acantilado que la erosión ha hecho caer y ha esculpido a lo largo de miles de años hasta convertirlos en formas irregulares y abultadas. Las rocas van desde el tamaño de una marmota hasta el de un elefante; la mayoría son como una persona acurrucada. Su resplandor no procede de la piedra, sino de los

mantos de liquen que en el aire húmedo se ruborizan con el color de la esmeralda, el jade y la perla.

El crecimiento de los líquenes forma montañas en miniatura, riscos de arenisca con manchas abigarradas de humedad y de sol. Las cimas más altas de las peñas están salpicadas de escamas grises de piel dura. Los cañones oscuros entre peñascos tienen un lustre púrpura. El turquesa refulge en los muros verticales, y círculos concéntricos de verde lima descienden por las pendientes suaves. Los colores de los líquenes parecen todos como recién pintados. Esa vitalidad contrasta con el letargo del resto del bosque bajo el peso del invierno; incluso los musgos están apagados y descoloridos por la helada.

Su fisiología flexible permite a los líquenes relucir llenos de vida cuando casi todas las criaturas se encierran durante el invierno. Los líquenes se adaptan a los meses fríos mediante la paradoja de la rendición. No queman ningún combustible en busca de calor y en cambio dejan que el ritmo de sus vidas suba y baje con el termómetro. Los líquenes no se aferran al agua como las plantas y los animales. Un cuerpo de liquen se hincha en los días húmedos y se arruga a medida que el aire se vuelve más seco. Las plantas se recogen ante el frío y guardan sus células hasta que poco a poco la primavera las convence para que se asomen. Las células de liquen tienen el sueño ligero. El día que el invierno afloja, los líquenes vuelven a la vida sin dificultad.

No son los únicos que han descubierto esta forma de ver la vida. En el siglo IV a. de C., Zhuangzi escribió sobre un hombre mayor zarandeado en la tumultuosa base de una cascada. Los que observaban aterrorizados corrieron en su ayuda, pero el hombre salió tranquilo y sin un rasguño. Cuando le preguntaron cómo había podido sobrevivir a esa dura prueba, contestó "conformidad… soy yo quien me adapto al agua, no el agua a mí". Los líquenes dieron con esta sabiduría cuatrocientos millones de años antes que los taoístas. Los verdaderos maestros de la victoria mediante la sumisión en la alegoría de Zhuangzi son los líquenes que se aferraban a las paredes rocosas alrededor de la cascada.

La quietud y simplicidad exterior de los líquenes ocultan la complejidad de su vida interior. Los líquenes son amalgamas de dos criaturas: un hongo y un alga o una bacteria. El hongo extiende los filamentos de su cuerpo sobre la superficie y proporciona un lecho acogedor. El alga o bacteria se acurruca dentro de esos filamentos y utiliza la energía solar para acumular azúcar y otras moléculas nutritivas. Como en cualquier matrimonio, la unión cambia a ambos cónyuges. El cuerpo del hongo se extiende y se convierte en una estructura similar a la de una hoja de árbol: una corteza protectora exterior, una capa para las algas, que captan la luz, y minúsculos poros para respirar. El alga pierde la membrana celular, deja la protección en manos del hongo y abandona la actividad sexual en beneficio de la autoclonación, más rápida pero no tan apasionante desde el punto de vista genético. Los hongos liquenosos se pueden cultivar en un laboratorio sin sus cónyuges, pero resultan viudos deformes y enfermizos. De forma parecida, las algas y bacterias de los líquenes pueden sobrevivir en general sin los hongos, pero no en todos los hábitats. Al liberarse de las cadenas de la individualidad, los líquenes han formado una unión capaz de conquistar el mundo. Cubren casi el diez por ciento de la superficie terrestre, sobre todo en el extremo norte carente de árboles, donde el invierno domina la mayor parte del año. Incluso aquí, en un mandala repleto de árboles en Tennessee, cada roca, cada tronco y cada ramita tienen liquen incrustado.

Algunos biólogos sostienen que los hongos son explotadores que tienden una trampa a sus víctimas, las algas. Esta interpretación no cae en la cuenta de que los socios del liquen han dejado de ser individuos, renunciando a la posibilidad de trazar una frontera entre opresor y oprimido. Como una agricultora que cuida de sus manzanos o de su campo de maíz, un liquen es una fusión de vidas. Cuando la individualidad se disuelve, los carnés de vencedores y víctimas tienen poco sentido. ¿Está oprimido el maíz? ¿La dependencia del maíz hace de la agricultora una víctima? Estas preguntas parten de una separación que no existe. El latido de las personas y la floración de las plantas cultivadas son una sola vida.

No existe la posibilidad de arreglárselas solo: la fisiología de la agricultora está moldeada por la dependencia de las plantas como alimento, que se remonta a cientos de millones de años y a los primeros animales parecidos al gusano. Las plantas cultivadas solo han vivido diez mil años con las personas, pero también han abandonado su independencia. Los líquenes añaden la intimidad física a esa interdependencia al fundir sus cuerpos y entrelazar las membranas de sus células, unidos por la mano de la evolución como las plantas de maíz fusionadas con la agricultora.

La variedad de colores de los líquenes del mandala refleja los muchos tipos de algas, bacterias y hongos que participan en su unión. Los líquenes azules o morados están formados por bacterias verde-azuladas, las cianobacterias. Los verdes están formados por algas. Los hongos añaden sus propios colores al segregar pigmentos amarillos o plateados que los protegen del sol. Bacterias, algas y hongos: tres troncos venerables del árbol de la vida que entretejen sus tallos pigmentados.

El verdor del alga refleja una unión más antigua. En lo profundo de las células de las algas, las gemas de pigmento absorben la energía solar. A través de una cascada química, esta energía se transforma en los enlaces que unen las moléculas de aire y las convierten en azúcar y otros alimentos. Ese azúcar proporciona energía tanto a la célula del alga como a su pareja, el hongo. Los pigmentos que captan la luz del sol se guardan en diminutos joyeros, los cloroplastos, cada uno de los cuales está encerrado en una membrana y viene con su propio material genético. Los cloroplastos de color verde botella son descendientes de las bacterias que fijaron su residencia dentro de las células de las algas hace mil quinientos millones de años. Los inquilinos bacterianos abandonaron sus duras capas exteriores, su sexualidad y su independencia, igual que las células de las algas cuando se unen a los hongos para formar líquenes. Los cloroplastos no son las únicas bacterias que viven dentro de otras criaturas. Todas las células de plantas, animales y hongos están habitadas por mitocondrias con forma de torpedo que funcionan como centrales eléctricas en

miniatura, ya que queman el alimento de las células para desprender energía. Estas mitocondrias también fueron en su momento bacterias libres y, como los cloroplastos, renunciaron al sexo y a la libertad a cambio de asociarse.

Por su parte, la espiral química de la vida, el ADN, lleva las marcas de una unión todavía más antigua. Nuestros ancestros bacterianos mezclaron e intercambiaron sus genes entre especies y combinaron las instrucciones genéticas como los cocineros se copian las recetas los unos a los otros. De vez en cuando, dos chefs se ponían de acuerdo en una fusión total y dos especies se fundían en una. El ADN de los organismos actuales, incluido el nuestro, conserva señales de esas fusiones. Aunque nuestros genes funcionan como una unidad, vienen con dos o más estilos de escritura ligeramente distintos, vestigios de las diferentes especies que se unieron hace miles de millones de años. El "árbol" de la vida es una mala metáfora. Las partes más profundas de nuestras genealogías se parecen a redes o deltas, con muchos nudos y circulación cruzada.

Somos muñecas rusas, nuestra vida es posible gracias a otras vidas que llevamos dentro. Pero mientras que las muñecas pueden desmontarse, no es posible separar a nuestros ayudantes celulares y genéticos de nosotros ni a nosotros de ellos. Somos líquenes a gran escala.

Unión. Fusión. Los habitantes del mandala están acostumbrados a asociarse. Pero la colaboración no es la única relación que se establece en el bosque. Aquí también hay piratería y explotación. Un recordatorio de estas asociaciones más dolorosas reposa enrollado en la hojarasca del centro del mandala, rodeado de rocas cubiertas de liquen.

El recordatorio se desenrolló lentamente, frenado por el aletargamiento de mis dotes de observación. Lo primero que me llamó la atención fueron dos hormigas de color ámbar yendo de aquí para allá entre la hojarasca húmeda. Observé su trajín durante media hora antes de darme cuenta del particular interés de las hormigas en una hebra enroscada sobre la hojarasca. La hebra tenía

más o menos la longitud de una mano y era del mismo marrón empapado de lluvia que la hoja de nogal americano sobre la que reposaba. Primero pensé que el filamento era un antiguo zarcillo de parra o el pecíolo de una hoja. Pero cuando ya iba a volver la mirada a algo más estimulante, una hormiga zurró al zarcillo con sus antenas y el rollo se enderezó y se tambaleó. Tuve un sobresalto al reconocerlo: un gusano nematomorfo. Una criatura extraña, aficionada a explotar a los demás.

Pude identificar al gusano por la forma de retorcerse. Los gusanos nematomorfos están presurizados por dentro, y el tirón de los músculos contra el cuerpo hinchado hace que se sacudan y se contorsionen como ningún otro animal. El gusano no necesita un movimiento complicado o grácil, ya que en esta fase de su vida solo tiene que llevar a cabo dos tareas: retorcerse hacia una pareja y desovar. Tampoco le hacían falta movimientos sofisticados en su fase anterior, cuando estaba ovillado dentro del cuerpo de un grillo. El grillo caminaba y se alimentaba por él. El gusano nematomorfo vivía como un forajido interno, robando y después matando al grillo.

El ciclo vital del gusano empieza cuando sale de un huevo desovado en un charco o arroyo. La larva microscópica se arrastra por el lecho del arroyo hasta que se la come un caracol o un insecto pequeño. Una vez dentro de su nueva casa, la larva se envuelve en una capa protectora, forma un quiste y espera.

La vida de la mayoría de larvas queda segada en este punto, siendo quistes, y no completan el resto del ciclo vital. El gusano del mandala es de los pocos que consiguen llegar a la siguiente fase. Su huésped se arrastró a tierra, murió y lo mordisqueó un grillo omnívoro. Esta secuencia de acontecimientos es tan improbable que el ciclo vital del gusano nematomorfo exige que los gusanos padres desoven decenas de millones de huevos; de esta multitud de jóvenes solo una media de uno o dos llegará a la edad adulta. Una vez dentro del grillo, el pirata larvario perfora la pared intestinal con la cabeza, provista de púas, y fija su residencia en su interior, donde crece de larva del tamaño de una coma a gusano de la longitud de una mano enrollándose sobre sí mismo para caber dentro del grillo.

Cuando el gusano ya no puede crecer más, libera sustancias químicas que se apoderan del cerebro del grillo. Estas sustancias convierten al grillo temeroso del agua en un suicida en busca de charcos o arroyos donde zambullirse. Enseguida que el grillo alcanza el agua, el gusano nematomorfo tensa sus potentes músculos, perfora el cuerpo del grillo y se retuerce en libertad, dejando que el navío saqueado se hunda y muera.

Una vez libres, los gusanos nematomorfos tienen muchas ganas de relacionarse y se aparean en madejas desordenadas de decenas y centenares de gusanos. Esta costumbre ha hecho que también se les llame gusanos gordianos, a partir de la leyenda del siglo VIII sobre el nudo endiabladamente complicado del rey Gordio. Quien pudiera desatar el nudo sucedería al rey, pero todos los aspirantes a gobernar fracasaron. Fue necesario otro pirata, Alejandro Magno, para deshacer el nudo. Como los gusanos, engañó a sus huéspedes al cortar el nudo con su espada y reclamó la corona del país.

Cuando la maraña gordiana está saciada de aparearse, los gusanos se desenredan y se arrastran a otra parte. Depositan sus huevos en las orillas empapadas de las lagunas y en los suelos húmedos de los bosques. Una vez incubadas, las larvas de gusano se apropian del espíritu del saqueador alejandrino, primero al infectar a un caracol y luego al robar a un grillo.

La relación del gusano nematomorfo con sus huéspedes es de explotación pura y dura. Sus víctimas no reciben ningún beneficio o compensación a cambio de su sufrimiento. Pero incluso este gusano parásito se sustenta gracias a una multitud de mitocondrias en su interior. La piratería funciona a partir de la colaboración.

Unión taoísta. Dependencia de los agricultores. Pillaje alejandrino. Las relaciones en el mandala presentan colores mezclados y variopintos. La frontera entre bandido y ciudadano honrado no es tan clara como parece a simple vista. De hecho, la evolución no ha trazado ninguna frontera. Cualquier vida aúna saqueo y solidaridad. Los forajidos parasitarios se nutren de las mitocondrias cooperadoras de su interior. Las algas se tiñen del esmeralda de antiguas bacterias

y se rinden entre las membranas grises del hongo. Incluso la base química de la vida, el ADN, es un árbol de mayo colorido, un nudo gordiano de relaciones.

17 DE ENERO

EL REGALO DE KEPLER

La nieve, que llega hasta los tobillos, ha alisado la superficie irregular y fracturada del bosque hasta convertirla en una serie de suaves ondulaciones y hoyas. Esta capa esconde grietas profundas entre las rocas y caminar se vuelve peligroso. Avanzo lentamente, apoyándome en los troncos de los árboles a medida que me deslizo y trepo hacia el mandala. Limpio de nieve mi piedra y me siento, arropándome bien con el abrigo. Cada diez minutos o así, se oye en el valle el eco de fuertes chasquidos, como disparos. Es el ruido que hacen al romperse las fibras de las ramas endurecidas por el hielo de los árboles grises y desnudos. La temperatura ha bajado a diez bajo cero; no es una helada severa, pero sí el primer frío de verdad del año, suficiente para tensar la madera de los árboles.

Sale el sol y la nieve se transforma de una suave capa blanca a miles de nítidos y brillantes puntos de luz. Con la yema del dedo pesco un poco de ese revoltijo centelleante en la superficie del mandala. Vista de cerca, la nieve es un laberinto de estrellas reflejadas, y cada una destella cuando su superficie se alinea con el sol y mis ojos. La luz solar capta la minuciosa ornamentación de cada copo y deja al descubierto brazos, agujas y hexágonos perfectamente simétricos. Cientos de estos copos de hielo de exquisita factura se agolpan en la yema de mi dedo.

¿Cómo surge tanta belleza?

En 1611, Johannes Kepler dejó por un momento sus elucubraciones sobre los movimientos de los planetas y meditó sobre el copo de nieve. Sentía especial curiosidad por la regularidad de las

seis puntas de los copos: "Tiene que haber alguna causa concreta por la que, siempre que empieza a nevar, las primeras formaciones de nieve presentan invariablemente la forma de una estrellita de seis puntas". Kepler buscó una respuesta en las reglas matemáticas y en las pautas de la historia natural. Observó que las abejas y las granadas forman sus panales y pepitas a partir de hexágonos, quizá por eficiencia geométrica. Sin embargo, el vapor de agua no está apretado en una cáscara como las pepitas de granada ni lo construye el trabajo de los insectos, así que Kepler creía que estos ejemplos vivientes no podían revelar la causa de la arquitectura de los copos. Las flores y muchos minerales no cumplen la regla de los seis lados, lo que complicaba todavía más la búsqueda de Kepler. Los triángulos, cuadrados y pentágonos también se pueden colocar siguiendo patrones geométricos, descartando así la pura geometría de la lista de posibilidades.

Kepler escribió que los copos de nieve nos muestran el espíritu de la Tierra y de Dios, el "alma formadora" que habita todo ser. Sin embargo, esta solución medieval no le satisfizo. Buscaba una explicación material, no un dedo que señalara el misterio. Kepler terminó su ensayo frustrado, sin haber podido atisbar más allá de la puerta del palacio glacial del saber.

Habría podido darle la vuelta a su decepción si se hubiera tomado en serio el concepto de átomo, una idea que tiene su origen en los filósofos griegos clásicos pero que había caído en desgracia para Kepler y la mayoría de científicos de principios del siglo XVII. Sin embargo, el exilio bimilenario del átomo estaba a punto de terminar, y hacia finales del XVII los átomos se volvieron a poner de moda y las barras y las esferas bailaban triunfantes en los libros de texto y en las pizarras. Hoy buscamos átomos atravesando el hielo con rayos X y utilizamos el patrón de rayos que se obtiene para descubrir un mundo mil billones de veces más pequeño que la escala normal de la vida humana. Encontramos las líneas irregulares de los átomos de oxígeno, cada uno amarrado a dos inquietos átomos de hidrógeno con los electrones destellantes. Flotamos alrededor de las moléculas y examinamos su regularidad desde todos los ángulos y, aunque

parezca increíble, vemos átomos dispuestos como la granada de Kepler. Es aquí donde empieza la simetría de los copos. Anillos hexagonales de moléculas de agua se suman los unos a los otros y repiten el ritmo de los seis lados una y otra vez, de modo que magnifican la disposición de los átomos de oxígeno a una escala visible para el ojo humano.

La forma hexagonal básica de los copos se desarrolla de varias maneras conforme el cristal de hielo crece; son la temperatura y la humedad del aire los que determinan la forma final. Los prismas hexagonales se forman en el aire seco y muy frío. El polo sur está cubierto de estas formas simples. A medida que aumenta la temperatura, el crecimiento hexagonal sencillo de los cristales de hielo empieza a desestabilizarse. No comprendemos del todo la causa de esa inestabilidad, pero parece que el vapor de agua se congela más rápido en algunos bordes del cristal de hielo que en otros, y la velocidad de este acrecentamiento está muy afectada por leves variaciones en el estado del aire. En el aire muy húmedo, brotan brazos de las seis puntas de los copos de nieve. Estos brazos se convierten entonces en nuevas placas hexagonales o, si el aire es suficientemente cálido, les salen todavía más apéndices y multiplican los brazos de la estrella que está creciendo. Otras combinaciones de temperatura y humedad dan lugar al crecimiento de prismas huecos, agujas o placas surcadas. A medida que nieva, el viento empuja los copos a través de las ligeras e innumerables variaciones de temperatura y humedad del aire. No hay dos copos de nieve que sigan la misma trayectoria, y las particularidades de estas historias divergentes tienen su reflejo en el carácter único de los cristales de hielo que forman cada copo de nieve. De este modo, los acontecimientos fortuitos de la historia se suman a las reglas de crecimiento de los cristales, lo que produce esa tensión entre orden y diversidad que tanto complace a nuestro sentido estético.

Si Kepler pudiera visitarnos, quizá se alegraría de nuestra solución al enigma de la belleza de los copos de nieve. Sus intuiciones respecto a la disposición de las pepitas de granada y las celdillas de las abejas iban en la buena dirección. La geometría de

las esferas apiladas es la causa última de la forma de los copos de nieve. Sin embargo, como Kepler no sabía nada de la base atómica del mundo material, no podía imaginarse los diminutos átomos de oxígeno de los que surge la geometría del hielo. No obstante, Kepler contribuyó de forma indirecta a la solución del problema. Sus reflexiones sobre los copos de nieve animaron a otros matemáticos a investigar la geometría de las esferas empaquetadas y esos estudios contribuyeron al desarrollo de nuestro concepto moderno de átomo. El ensayo de Kepler se considera hoy en día como uno de los fundamentos del atomismo moderno, una cosmovisión que el propio Kepler rechazó explícitamente cuando le dijo a un colega que él no podía ir a parar *ad atomos et vacua*, "a los átomos y al vacío". Las intuiciones de Kepler ayudaron a otros a ver lo que él no podía ver.

Vuelvo a examinar las estrellas vítreas que tengo en la yema del dedo. Gracias a Kepler y a los que le siguieron, no solo veo copos de nieve sino esculturas de átomos. En ningún otro lugar del mandala es tan sencilla la relación entre el mundo atómico infinitesimalmente pequeño y el reino mayor de los sentidos. Aquí otras superficies –piedras, cortezas, mi piel y mi ropa– están hechas de marañas complicadas de muchas moléculas, de modo que verlas no me dice nada inteligible de su estructura diminuta. En cambio, la forma de los cristales de hielo hexagonales permite ver perfectamente lo que debería ser invisible, la geometría de los átomos. Dejo que caigan de mi mano y vuelven al olvido de la masa blanca.

21 DE ENERO

EL EXPERIMENTO

Un viento polar corre por el mandala, consigue atravesar mi bufanda y hace que me duela la mandíbula. Sin contar la sensación térmica, estamos a veinte grados bajo cero. En estos bosques del sur no es corriente tanto frío. Los inviernos sureños suelen oscilar entre deshielos y heladas suaves, y solo unos pocos días al año son gélidos. El frío de hoy va a llevar la vida del mandala a sus límites fisiológicos.

Quiero sentir el frío como lo hacen los animales del bosque, sin la protección de la ropa. Sin pensarlo, tiro los guantes y el sombrero a la tierra helada. Después la bufanda. Rápidamente me quito el mono aislante, la camisa, la camiseta y los pantalones.

El primer par de segundos del experimento es sorprendentemente refrescante, un frescor agradable después del sofoco de la ropa. Entonces el viento hace saltar por los aires la ilusión y la cabeza se me nubla de dolor. El calor que desprende mi cuerpo me abrasa la piel.

Un coro de carboneros de Carolina brinda el acompañamiento de este *striptease* absurdo. Los pájaros bailan por los árboles como centellas de una hoguera y vuelan a toda velocidad entre las ramas. Descansan no más de un segundo en cualquier superficie y después salen disparados. El contraste en este día frío entre la vivacidad de los carboneros y mi ineptitud fisiológica parece desafiar las leyes de la naturaleza. Los animales pequeños deberían ser menos capaces de aguantar el frío que sus primos de mayor tamaño. El volumen de todos los objetos, incluidos los cuerpos de los animales, aumenta a

razón del cubo de la longitud del objeto. La cantidad de calor que puede generar un animal es proporcional al volumen de su cuerpo, de modo que la generación de calor también aumenta al cubo de la longitud del cuerpo. No obstante, la superficie, que es donde se pierde el calor, aumenta solo a razón del cuadrado de la longitud. Los animales pequeños se enfrían rápido porque proporcionalmente tienen mucha más superficie que volumen corporal.

La relación entre el tamaño de los animales y el índice de pérdida de calor ha dado lugar a tendencias geográficas en cuanto al tamaño corporal. Cuando las especies de animales existen en un área extensa, los individuos del norte suelen ser más grandes que los del sur. Es la llamada regla de Bergmann, por el anatomista del siglo XIX que fue el primero en describir la relación. Los carboneros de Carolina de Tennessee viven hacia el límite septentrional de la zona de distribución de la especie, y son de un diez a un veinte por ciento más grandes que los individuos del límite meridional, en Florida. Los pájaros de Tennessee han inclinado la balanza entre superficie y volumen corporal para adaptarse a los inviernos más fríos. Más al norte sustituye al carbonero de Carolina una especie del mismo género, el carbonero cabecinegro, a su vez un diez por ciento más grande.

Desnudo en el bosque, la regla de Bergmann parece ficción. El viento sopla fuerte y la quemazón de la piel aumenta vertiginosamente. Después llega un dolor más profundo. Hay algo más allá de la mente consciente que está atrapado e inquieto. El cuerpo me falla al cabo de un minuto en este frío invernal. Y sin embargo peso diez mil veces más que un carbonero; estos pájaros tendrían que extinguirse en cuestión de segundos.

La supervivencia de los carboneros depende en parte de sus plumas aislantes, que les dan una ventaja frente a la desnudez de mi piel. Un mullido de plumas oculto a la vista hincha la capa exterior de plumaje liso. Cada plumón está compuesto de miles de delgadas fibras de proteínas. Estos pelos diminutos se unen para formar una pelusa ligera que retiene el calor diez veces más que el mismo grosor de la espuma de poliestireno de las tazas de café. En

invierno los pájaros aumentan en un cincuenta por ciento el número de plumas de su cuerpo, lo que añade poder aislante a su plumaje. En los días fríos, los músculos de la base de las plumas se tensan y el ave se hincha y dobla el grosor de su aislamiento. Sin embargo, toda esta impresionante protección solo retrasa lo inevitable. A los carboneros el frío no les quema la piel como a mí, pero de todos modos pierden calor. Un centímetro o dos de pelusa mullida solo da para unas pocas horas de vida en condiciones de frío extremo.

Me inclino hacia el viento. La sensación de inquietud aumenta. El cuerpo me tiembla con espasmos incontrolables.

Las reacciones químicas con las que suelo generar calor son ahora totalmente insuficientes y la tiritera de los músculos es la última defensa contra una temperatura central cada vez menor. Los músculos se disparan aparentemente al azar y chocan los unos contra los otros de modo que mi cuerpo se estremece. Dentro se queman moléculas de alimento y oxígeno igual que cuando los músculos hacen que corra o me levante, pero ahora esta combustión produce una ola de calor. El violento estremecimiento de las piernas, el pecho y los brazos calienta la sangre, que lleva el calor al cerebro y al corazón.

Tiritar también es la principal defensa de los carboneros contra el frío. Durante el invierno, los pájaros utilizan los músculos como bombas de calor y tiritan siempre que hace frío y no están activos. La principal fuente de calor son los pedazos de músculos de vuelo que los carboneros tienen en el pecho. Los músculos de vuelo representan aproximadamente un cuarto del peso de un pájaro, de modo que los tiritones producen grandes oleadas de sangre caliente. Las personas no tenemos músculos proporcionalmente tan enormes, por lo que nuestras tiriteras son comparativamente más débiles.

Tiemblo y el miedo aflora. Me entra pánico y me visto tan rápido como puedo. Se me han entumecido las manos y agarro la ropa con dificultad e intento torpemente cerrar la cremallera y abrocharme los botones. La cabeza me duele como si de repente la presión de la sangre se me hubiera disparado. Lo único que quiero es moverme

rápido. Camino, salto y meneo los brazos. El cerebro me está mandando una orden: hay que producir calor ya.

El experimento solo ha durado un minuto, solamente una diezmilésima parte de la duración de esta semana de frío ártico. Y sin embargo mi fisiología todavía no se ha recuperado. Tengo la cabeza a punto de reventar, los pulmones no captan suficiente aire y parece como si se me hubieran paralizado los miembros. Si el experimento hubiera durado algunos minutos más, la temperatura central de mi cuerpo habría caído en la hipotermia. La coordinación muscular habría desaparecido y después la somnolencia y las alucinaciones se habrían apoderado de mi mente. El cuerpo humano se mantiene normalmente a unos treinta y siete grados. Si la temperatura baja unos pocos grados, a treinta y cuatro, aparecen síntomas de confusión mental. A treinta grados, los órganos empiezan a desconectarse. En días de viento gélido como hoy, esta pérdida de unos pocos grados de temperatura puede darse en una hora de exposición sin ropa. Despojado de mis ingeniosas adaptaciones al frío, me siento como un simio del trópico, profundamente fuera de lugar en el bosque invernal. El despreocupado dominio de este lugar por parte de los carboneros resulta humillante.

Después de menear los miembros y dar patadas al suelo durante cinco minutos, me acurruco entre mi ropa, temblando todavía pero superado ya el pánico. Me noto los músculos cansados y estoy sin aliento, como si acabara de hacer un *sprint*. Estoy sufriendo las secuelas del esfuerzo necesario para generar calor. Cuando se tirita más allá de unos pocos minutos, las reservas de energía de un animal pueden agotarse rápidamente. Para los exploradores humanos y los animales salvajes, el hambre es a menudo el preludio de la muerte. Mientras duran las provisiones, podemos tiritar y aferrarnos a la vida, pero no podemos sobrevivir en ayunas y sin reservas de grasa.

Volveré a abastecer reservas cuando me retire a mi cocina cálida y disfrutaré de las tecnologías de conservación y transporte de los alimentos que desafían el invierno. Los carboneros, en cambio, no

tienen grano seco, no crían ganado ni importan verdura. Para sobrevivir en el bosque invernal, tienen que descubrir suficiente comida para alimentar su horno de cuatro gramos y medio.

La energía que los carboneros utilizan se ha medido en el laboratorio y en aves en libertad. En un día de invierno, los pájaros necesitan hasta sesenta y cinco mil julios de energía para mantenerse vivos. La mitad de esa energía se utiliza para tiritar. Estas medidas abstractas se vuelven más comprensibles cuando se convierten a la moneda del alimento de las aves. Una araña del tamaño de una coma de esta página solo aporta un julio. Una araña que cupiera en una letra mayúscula valdría cien julios. Un escarabajo del tamaño de una palabra equivale a doscientos cincuenta julios. Una semilla de girasol, rica en aceite, proporciona más de mil julios, pero los pájaros del mandala no disponen de un comedero lleno de semillas. Los carboneros tienen que encontrar cada día cientos de bocados de comida para poder afrontar su presupuesto energético. Y sin embargo la despensa del mandala parece completamente vacía. No veo escarabajos, arañas o alimento de ningún tipo en el bosque dominado por el hielo.

Los carboneros logran arrancarle sustento al bosque en apariencia estéril debido en parte a su vista excepcional. Las retinas de la parte trasera de los ojos están cubiertas de receptores dispuestos con el doble de densidad que los míos. Los pájaros tienen por tanto una gran agudeza visual y ven detalles que yo no veo. Donde observo una ramita lisa, las aves ven una torsión agrietada y descascarillada, cargada con la promesa de esconder alimento. Muchos insectos pasan el invierno arrellanados en minúsculas grietas en la corteza de los árboles, y los ojos expertos de los carboneros descubren sus escondites. No podemos experimentar del todo la riqueza de este mundo visual, pero mirar a través de una lente de aumento nos da una idea: de golpe aparecen detalles normalmente invisibles. Los carboneros pasan la mayor parte de los días de invierno recorriendo con su vista privilegiada las ramitas, troncos y hojarasca del bosque en busca de alimento oculto.

Su vista también percibe más colores que la mía. Veo el mandala con ojos provistos de tres tipos de receptores de color, lo que me da tres colores primarios y cuatro combinaciones principales de colores primarios. Los carboneros tienen un receptor de color más que detecta la luz ultravioleta. Esto les brinda cuatro colores primarios y once combinaciones principales, una expansión de la visión del color más allá de lo que los humanos podemos experimentar o incluso imaginar. Los receptores de color de los pájaros también están provistos de gotitas de aceite tintadas que actúan como filtros de luz y solo permiten que una gama limitada de colores estimule cada receptor. Esto hace que la visión del color aumente en precisión. Los humanos carecemos de estos filtros, o sea que incluso dentro del nivel de luz que podemos ver, las aves son más capaces de distinguir diferencias sutiles de color. Los carboneros viven en una hiperrealidad de color inaccesible a nuestra torpe vista. Aquí en el mandala, utilizan estas cualidades para encontrar alimento. Las uvas silvestres secas que están esparcidas sin demasiada densidad por el suelo del bosque reflejan la luz ultravioleta. A veces las alas de los escarabajos y de las mariposas nocturnas están matizadas de luz ultravioleta, igual que algunas orugas. Incluso sin la ventaja de la visión ultravioleta, la percepción del color de los pájaros es suficientemente precisa como para detectar pequeñas imperfecciones en el camuflaje de los insectos y conseguir desenmascararlos.

La capacidad visual de las aves y los mamíferos difiere debido a unos hechos que ocurrieron en el Jurásico, hace ciento cincuenta millones de años. Fue entonces cuando el linaje que dio origen a los pájaros actuales se escindió de los demás reptiles. Estas aves antiguas heredaron los cuatro receptores de color de sus ancestros reptiles. Los mamíferos también evolucionaron a partir de los reptiles y de hecho se escindieron antes que las aves. No obstante, a diferencia de los pájaros, nuestros ancestros protomamíferos pasaron el Jurásico como animales nocturnos parecidos a las musarañas. El utilitarismo de la selección natural no creyó que los colores esplendorosos hubieran de tener ninguna utilidad para estos

animales nocturnos. Dos de los cuatro receptores de color que los ancestros de los mamíferos les habían legado se perdieron. Hasta el día de hoy la mayoría de los mamíferos solo tiene dos receptores de color. Algunos primates, entre ellos los que dieron origen a los humanos, desarrollaron un tercero más adelante.

Los cuerpos acrobáticos de los carboneros les permiten sacar partido de su vista. Un aletazo les basta para ir de una rama a otra. Las patas se agarran a una ramita, después el pájaro se deja caer y se balancea colgado de la punta de una rama. El pico rastrea mientras el cuerpo del ave, que todavía cuelga, pivota, y después las alas se abren de golpe y el pájaro revolotea hasta una ramita de las de arriba. No queda superficie sin examinar. Las aves pasan tanto tiempo del revés, escudriñando bajo las ramitas, como del derecho.

A pesar del empeño de su búsqueda, los carboneros no cazan ninguna presa mientras los miro. Como la mayoría de pájaros, los carboneros dan un característico cabezazo hacia atrás cuando tragan o, si encuentran un bocado más grande, lo sujetan con las patas y lo picotean. La bandada no encuentra comida y solo puedo contemplarla durante quince minutos. Puede que los carboneros tengan que recurrir a sus reservas de grasa para sobrevivir al frío. Estas reservas son cruciales para superar el invierno y les permiten aprovechar la variabilidad de la estación. Cuando el tiempo mejora, o cuando las aves encuentran un grupo de arañas o un racimo de bayas, el alimento se convierte en grasa que los sostiene mientras hay poca comida y hace frío.

El nivel de gordura varía entre individuos. Los carboneros se alimentan en bandadas socialmente estratificadas, normalmente compuestas por una pareja dominante y varios subordinados. Los pájaros dominantes pueden comer de cualquier alimento que la bandada encuentre, de modo que en general comen bien haga el tiempo que haga. Estas aves de alto rango son esbeltas. Los carboneros subordinados se llevan la peor parte de las penurias del invierno y no comen bien con regularidad. Los pájaros de bajo estatus, jóvenes o reproductores fallidos, compensan la variabilidad de su ingesta engordando, un seguro frente a tiempos de escasez.

No obstante, la gordura de los carboneros tiene un precio: las aves rechonchas son presa fácil de los halcones. La gordura de cada uno de ellos surge del equilibrio entre el riesgo de inanición y el riesgo de ser depredado.

Los carboneros complementan sus reservas de grasa hundiendo insectos y semillas en las grietas de las cortezas; guardan así comida para recuperarla después. Los carboneros de Carolina son especialmente aficionados a esconder alijos de comida en la parte inferior de las ramas pequeñas. Puede que esta costumbre sea una precaución frente al robo por parte de especies de pájaros menos ágiles. Sin embargo, esos alijos no escapan al saqueo, de modo que durante el invierno cada bandada de carboneros defiende un territorio del que se ahuyenta con firmeza a los vecinos. Los carboneros de otras partes del mundo que no esconden alijos son mucho menos territoriales.

En invierno, otras especies de aves más grandes se unen a las bandadas de carboneros. Hoy mismo, un pájaro carpintero peludo labraba la corteza de un roble en busca de larvas y voló tras los carboneros que se dirigían hacia el este. Un herrerillo bicolor también viajaba con la bandada. El herrerillo brinca de rama en rama como los carboneros, pero es menos ágil y prefiere encontrar ramitas sin balancearse colgado de las puntas de las ramas. Todas las aves se reclaman y mantienen la bandada unida. Los carboneros y los herrerillos cotorrean y silban mientras que el pájaro carpintero suelta unos *pic* agudos. Este comportamiento en bandada ofrece a sus miembros protección frente a los halcones, más fáciles de avistar cuando todos vigilan. No obstante, la seguridad del grupo tiene un coste para los carboneros. Los herrerillos bicolores pesan el doble que ellos, y las aves más grandes dominan y ahuyentan a los carboneros de las ramas secas, las ramitas altas y otros lugares predilectos para alimentarse. En las bandadas en que no hay herrerillos, los carboneros se alimentan mejor. En invierno, la supervivencia en el mandala exige por tanto no solo una fisiología sofisticada, sino también una esmerada negociación de la dinámica social.

Está anocheciendo. Muevo los miembros entumecidos y me restriego los ojos salpicados de hielo antes de salir del bosque. Los pájaros seguirán buscando comida algunos minutos más y después se dirigirán a sus nidos. A medida que la luz disminuya y la temperatura baje, los carboneros se reunirán en agujeros formados entre ramas caídas, resguardados de la fuerza del viento gélido. Las aves se apiñan en grupos y dan la razón a la regla de Bergmann componiendo una bola de pájaros con mucho volumen pero con una superficie relativamente pequeña. Entonces, en un letargo hipotérmico que permite ahorrar energía, la temperatura corporal de los carboneros baja diez grados. De noche como de día, la combinación de adaptación conductual y fisiológica les otorga una ventaja ante el invierno. El letargo combinado con el apiñamiento reduce a la mitad las necesidades de energía de los carboneros durante la noche.

La adaptación de los carboneros al frío es notable, pero no siempre suficiente. Mañana habrá menos carboneros en el bosque. Las gélidas manos del invierno tumbarán a muchos de estos pájaros y los arrastrarán más allá del vacío atroz que sentí cuando experimenté el frío. Solo la mitad de los que se alimentaron entre las hojas caídas del otoño podrá ver cómo brotan las bellotas en primavera. Noches como la de hoy son la mayor causa de mortalidad invernal entre las aves.

Las temperaturas glaciales de esta semana solo durarán unos días, pero el pico en la mortalidad de pájaros cambiará el bosque para todo el año. Las muertes en las noches invernales mantienen bajo control la población de carboneros al eliminar las aves excedentes dadas las escasas provisiones de comida de la estación. Cada carbonero de Carolina necesita de media un mínimo de tres hectáreas de bosque para sustentarse. Este metro cuadrado de mandala solo mantiene unos pocos cientos de milésimas de carbonero. El frío de esta noche acabará con cualquier excedente.

Cuando llegue el verano, el mandala podrá sustentar a muchos más pájaros. No obstante, debido a que las exiguas provisiones del invierno mantienen a raya la población de especies residentes como

los carboneros, el alimento que puede conseguirse en verano supera de largo el apetito de los pájaros que viven allí. Esta abundancia estacional de comida crea una oportunidad que las aves migratorias aprovechan, aventurándose a vuelos largos desde América central y del sur para alimentarse de los excedentes de los bosques a lo largo y ancho de América del norte. El frío invernal es por lo tanto el responsable de la migración anual de millones de tangaras, currucas y vireónidos.

Las muertes que deje la noche también harán que la especie de los carboneros encaje mejor con su entorno. Los carboneros de Carolina más pequeños tienen más posibilidades de morir que sus familiares más corpulentos, lo que refuerza el patrón latitudinal de Bergmann. Asimismo, el frío extremo purgará de la población aquellos pájaros cuya capacidad de tiritar, cuyo mullido de plumas o cuyas reservas de energía sean insuficientes. Por la mañana, la población de carboneros de este bosque se ajustará más a las exigencias del invierno. Esta es la paradoja de la selección natural: la perfección creciente de la vida procede de la muerte.

Mi propia ineptitud fisiológica ante el frío también tiene su origen en la selección natural. Estoy fuera de lugar en el mandala glacial porque mis ancestros eludieron la selección por resistencia al frío. Los humanos evolucionaron a partir de los simios que vivieron durante decenas de millones de años en el África tropical. No pasar calor era mucho más importante que no pasar frío, así que nuestro cuerpo tiene pocas defensas contra el frío extremo. Cuando mis ancestros pasaron de África al norte de Europa, llevaron consigo el fuego y la ropa, una forma de traer el trópico a las regiones templadas y polares. Gracias a estas habilidades hubo menos sufrimiento y menos muertes, consecuencias sin duda positivas. No obstante, la comodidad permitió esquivar la selección natural. Nuestra destreza con el fuego y la tela nos condena a estar siempre fuera de lugar en el frío invernal.

Anochece y me retiro a mi herencia, el cálido hogar; el mandala queda en manos de los maestros aviarios del frío. Llegaron a esta maestría a fuerza de palos, a través de la lucha de miles de

generaciones. Yo quería sentir el frío como lo sienten los animales del mandala, pero ahora me doy cuenta de que es imposible. Mi experiencia pasa por un cuerpo que ha tomado un camino evolutivo distinto del de los carboneros, y eso impide compartir realmente la experiencia. Sin embargo, estar desnudo a merced del viento gélido ha hecho que todavía los admire más. La única reacción adecuada es el asombro.

30 DE ENERO

PLANTAS DE INVIERNO

El viento embiste los árboles del risco que está encima del mandala y produce un rugir grave y continuado. A diferencia de los vendavales del norte de principios de semana, este viento es del sur, y el risco protege el mandala de casi todos los torbellinos y ráfagas. El cambio de viento ha hecho subir la temperatura. Solo estamos a un par de grados bajo cero, un tiempo que permite sentarse cómodamente durante una o dos horas si se lleva ropa de invierno. Ya no siento el implacable e insistente dolor físico provocado por el frío, y mi cuerpo da la bienvenida al aire benigno con una sensación de placer sosegado.

Pasa una bandada de pájaros que parecen deleitarse en su liberación de las garras de la muerte ártica. Cinco especies viajan juntas: cinco herrerillos bicolores, un par de carboneros de Carolina, una ratona carolinense, un reyezuelo sátrapa y un *Melanerpes carolinus*. Parece como si la bandada estuviera atada por hilos elásticos e invisibles; cuando un ave queda rezagada o se aparta más allá del radio de diez metros de la bandada, se le tira de nuevo hacia el centro. Mientras avanza a través del bosque nevado y exánime, la bandada entera es como una bola inquieta que va rodando.

Los herrerillos, que emiten una mezcolanza continua de sonidos, son los que se hacen oír más. Cada herrerillo suelta *sit* agudos, lo que crea un ritmo irregular sobre el que se superponen sus demás reclamos, silbidos roncos y chillidos. Algunos pájaros repiten *pi-ta pi-ta*, un sonido ausente de su repertorio a principios de semana, cuando el frío era intenso. Este sonido claro formado por dos notas

es la canción de apareamiento. A pesar de la nieve, estas aves ya dirigen su atención a la primavera. La puesta de huevos tendrá que esperar dos meses, pero ya han empezado las largas negociaciones sociales del cortejo.

La exuberancia llena de vida de los pájaros contrasta con las plantas del mandala. Las ramas grises y las ramitas peladas de más abajo ofrecen un espectáculo desolador. La muerte sobresale entre la nieve: asoman ramas de arce medio podridas y caídas, y cabos deshilachados de tallos de *Polymnia canadensis*, cada uno de los cuales está rodeado por un círculo de nieve sublimada que deja ver la hojarasca oscura que hay debajo. Parece que el invierno ha infligido una severa derrota.

Y sin embargo la vida sigue.

Los arbustos y los árboles pelados no son los esqueletos que parecen. Todas las ramitas y troncos están envueltos de tejidos vivos. A diferencia de los pájaros, que sobreviven combatiendo el frío con la comida arrancada al puño cerrado del invierno, las plantas se sostienen de alguna forma sin recrear un verano interno. Que las aves sobrevivan produce asombro, pero la resurrección de las plantas después de una rendición total está tan alejada de la experiencia humana que raya en lo escandaloso. Los muertos, sobre todo si están congelados, no deberían volver.

Sin embargo, el hecho es que vuelven. Las plantas sobreviven de la misma forma que un tragasables: con una preparación concienzuda y una atención meticulosa a los filos. En general, la fisiología de las plantas puede sobrellevar el simple enfriamiento. A diferencia de las reacciones químicas que sustentan a los humanos, la bioquímica vegetal puede funcionar a muchas temperaturas distintas y no falla cuando se enfría. Con todo, cuando el enfriamiento se convierte en congelación empieza a haber problemas. Los cristales de hielo se expanden y pinchan, rasgan y destrozan la delicada arquitectura interior de las células. En invierno, las plantas tienen que tragarse decenas de miles de cuchillas y mantenerlas todas alejadas de sus frágiles corazones.

Las plantas empiezan a prepararse varias semanas antes de las primeras heladas. Trasladan el ADN y otras estructuras delicadas al centro de sus células y después las envuelven para protegerlas. Las células se vuelven más grasas, y los enlaces químicos de estas grasas cambian de forma para hacerlas fluidas en condiciones de frío. Las membranas en torno a las células se vuelven permeables y flexibles. Una vez transformadas, las células quedan acolchadas y elásticas, capaces de absorber la violencia del hielo sin sufrir daños.

Los preparativos para el invierno se alargan varios días o semanas. Una helada fuera de temporada mata ramas que, cuando están bien aclimatadas, pueden aguantar las noches más frías del año. A las especies vegetales autóctonas rara vez les sorprenden las heladas; la selección natural les ha enseñado los ritmos estacionales de su hábitat. Sin embargo, las plantas alóctonas no tienen conocimientos del territorio y el invierno las poda mucho.

Las células no solo cambian su estructura física, sino que, de la misma forma que se esparce sal en las carreteras heladas, se empapan de azúcares para bajar el punto de congelación. El azucarado solo se da dentro de las células y el agua que las circunda no se endulza. Esta asimetría permite que las plantas aprovechen un regalo ofrecido por las leyes de la física: cuando se forma el hielo se desprende calor. Las células rodeadas de agua helada reciben una inyección de calor de varios grados. Durante las primeras heladas del invierno, el interior azucarado de las células está protegido por el agua no azucarada que las circunda. Los agricultores aprovechan este repunte de calor para rociar sus cultivos en las noches heladas, lo que añade otra capa de agua emisora de calor.

Cuando toda el agua entre células se ha congelado hasta solidificarse, ya no se desprende más calor. Sin embargo, el agua del interior de las células sigue líquida. Ese líquido sale de la membrana porosa alrededor de la célula. Al filtrarse, el agua deja los azúcares, ya que son moléculas grandes y no pueden atravesar la membrana. Este proceso va sacando agua de las células a medida que disminuye la temperatura, lo que aumenta la concentración interior de azúcares y hace bajar todavía más el punto de congelación.

Cuando las temperaturas son muy bajas, las células se arrugan hasta convertirse en bolas de almíbar, depósitos de vida no congelada rodeados de esquirlas de hielo.

El helecho zacatón y los musgos del mandala se enfrentan a otro desafío. Aunque sus hojas y tallos perennes les permiten nutrirse en los días calurosos de invierno, la fuente de su verdor, la clorofila, puede ser difícil de controlar cuando hace frío. La clorofila capta la energía solar y la convierte en un alboroto de electrones excitados. Cuando hace buen tiempo, la energía de esos electrones se desvía rápidamente al proceso de fabricación de alimento de la célula. No obstante, esta desviación se agarrota cuando hace frío, y deja las células inundadas de electrones sobreexcitados. Sin obstáculos, la energía que no se canaliza destroza la célula. Para prevenir el motín de los electrones, las plantas de hoja perenne se preparan frente al invierno llenando sus células de sustancias químicas que interceptan y neutralizan la energía superflua de los electrones. Conocemos a esas sustancias como vitaminas, concretamente las vitaminas C y E. Los indios americanos también sabían algo de esto y mascaban hojas perennes en invierno para no enfermar a lo largo de la estación.

El hielo impregna las plantas del mandala, pero cada una de sus células retrocede cuidadosamente e impone una separación microscópica entre el hielo y la vida. Al invertir esa contracción celular, las ramitas, los brotes y las raíces son capaces de renacer en primavera y seguir adelante casi como si no hubiera habido invierno. Sin embargo, unas pocas especies vegetales toman un camino distinto. Las hierbas de *Polymnia canadensis* llegaron al término de su corta vida de dieciocho meses el otoño pasado y ahora están muertas, completamente rendidas al invierno. Se han sublimado en una nueva forma física, igual que la nieve se convierte en vapor. Como el vapor, estas formas nuevas son invisibles, pero me rodean. Hay miles de semillas de *Polymnia canadensis* enterradas en la hojarasca del mandala esperando a que pase el invierno. Gracias a que las semillas tienen capas duras e interiores secos, atraviesan los meses fríos protegidas en buena medida de las agresiones del hielo.

La impresión de desolación del mandala es superficial. Dentro de los límites de este metro cuadrado hay cientos de miles de células vegetales, cada una vuelta sobre sí misma, más intensa en su retirada. Igual que ocurre con la pólvora, la apariencia gris y discreta de las plantas no deja traslucir su energía latente. Así, a pesar de que los herrerillos y otras aves hacen un vigoroso alarde de vida en enero, no es nada en comparación con la fuerza que acumulan las plantas inactivas. Cuando la primavera enciende el mandala, la energía que se libera permite a todo el bosque, incluidas las aves, sobrevivir un año más.

2 DE FEBRERO

UNAS HUELLAS

Algún animal ha cincelado las puntas de un *Viburnum acerifolium* y ha dejado cabos biselados por las ramas del arbusto. Quien ha cortado estos brotes tiernos ha dejado tres huellas en el mandala, orientadas de este a oeste. Cada huella está formada por dos impresiones con forma de almendra que se hunden cinco centímetros en la hojarasca. Es la firma de una pezuña partida, el sello del clan artiodáctilo. Como en casi todas las comunidades terrestres del mundo entero, en el mandala ha pacido un mamífero de pezuña hendida, en este caso un ciervo de cola blanca.

El ciervo que anoche pasó por el mandala escogió cuidadosamente de dónde pacía. El arbusto de *viburnum* había almacenado alimento en las puntas de las ramas preparándose para la primavera. Esas puntas jóvenes todavía no estaban endurecidas y leñosas. Los brotes tiernos del arbusto han sido robados, digeridos y reinvertidos en músculo de ciervo o, si los mordisqueó una hembra, en el cuerpo del cervato que tal vez llevara en su seno.

Los ciervos tienen ayuda. Para liberar el alimento encerrado en las duras células de las ramitas y las hojas se necesita una asociación entre lo muy grande y lo muy pequeño. Los animales pluricelulares grandes pueden arrancar pedazos de material leñoso y masticarlo, pero no pueden digerir la celulosa, la molécula que compone la mayor parte de la materia vegetal. Los microbios, organismos unicelulares minúsculos como bacterias y protistas, son físicamente insignificantes pero químicamente poderosos. La celulosa no les hace vacilar. Surge así una banda de ladrones: animales que deambulan y machacan plantas emparejados con

microbios que digieren la celulosa pulverizada. Varios grupos de animales han desarrollado este plan de forma independiente. Las termitas trabajan con los protistas que esconden en las tripas; los conejos y su familia albergan microbios en una gran cámara al final de su intestino; el hoacín, un ave extravagante de Sudamérica que come hojas, tiene un saco de fermentación en el cuello; los rumiantes, incluidos los ciervos, disponen de una enorme bolsa de ayudantes en un estómago especial, el rumen.

Las asociaciones microbianas permiten que los animales de gran tamaño utilicen las enormes reservas de energía que encierran los tejidos vegetales. Los animales, incluidos los seres humanos, que no han llegado a un acuerdo con los microbios, se limitan a comer frutos blandos, unas pocas semillas fácilmente digeribles, y la leche y la carne de nuestros primos animales más versátiles.

Los árboles jóvenes del mandala quedaron pellizcados entre la dentadura inferior del ciervo y la almohadilla dura de la mandíbula superior que sustituye a los incisivos. Los bocados leñosos se mandaron a las muelas para que se molieran y después se tragaran. Cuando estos pedacitos llegaron al rumen entraron en otro ecosistema, una enorme batidora de microbios. El rumen es un saco que se bifurca del resto del intestino del ciervo. Todo alimento, excepto la leche materna, se manda al rumen antes de que pueda llegar al resto del estómago y después a los intestinos. El rumen está rodeado de músculos que revuelven el contenido. Unos colgajos de piel en su interior funcionan como el tambor de una lavadora y le dan la vuelta a la comida a medida que avanza.

La mayoría de los microbios del rumen no pueden vivir en presencia de oxígeno. Descienden de antiguas criaturas que evolucionaron en una atmósfera muy distinta. El oxígeno solo pasó a formar parte del aire de la Tierra cuando se inventó la fotosíntesis, hace unos dos mil quinientos millones de años. Como el oxígeno es una sustancia reactiva y peligrosa, este envenenamiento del planeta acabó con muchos animales y obligó a otros a esconderse. Hasta el día de hoy, estos aborrecedores del oxígeno viven en el fondo de los

lagos, en las marismas y en las profundidades de la tierra, y se labran a duras penas una existencia en ambientes libres de oxígeno. Otras criaturas se adaptaron al nuevo contaminante y, a través de una elegante maniobra de evitación, sacaron provecho del oxígeno tóxico. Así nació la respiración a partir del oxígeno, un ardid bioquímico que libera energía y que hemos heredado. Nuestras vidas dependen por tanto de una antigua forma de contaminación.

La evolución del intestino de los animales brindó a esos refugiados que huían del oxígeno un nuevo lugar donde esconderse. Los intestinos no solo están relativamente libres de oxígeno, sino que permiten hacer realidad el sueño de cualquier microbio: un suministro constante de comida triturada. Sin embargo, había un problema. En general, el estómago de los animales está lleno de jugos gástricos ácidos pensados para desgarrar los tejidos vivos. Esto impedía que la mayoría de ellos albergaran microbios que digirieran las plantas. Sin embargo, como unos buenos hoteleros, los rumiantes cambiaron sus estómagos y obtuvieron cuatro estrellas en éxito evolutivo. El eje de esta hospitalidad es la posición y la amabilidad del rumen, que viene antes que el resto del intestino y se mantiene neutro, ni ácido ni alcalino. A los microbios les sienta de maravilla este balneario revuelto. La saliva del animal es alcalina, de modo que se neutralizan los productos ácidos de la digestión. El oxígeno entrante lo absorbe un pequeño equipo de criadas bacterianas.

El rumen funciona tan bien que los científicos equipados con las probetas y tanques más sofisticados no han sido capaces de reproducir, no digamos ya de superar, el índice de crecimiento o las proezas digestivas de los microbios del rumen. El rendimiento de este órgano se debe a la exquisita complejidad biológica que se desarrolla en sus cámaras privilegiadas. Un billón de bacterias de al menos doscientas especies nadan en cada milímetro del líquido del rumen. Se han descrito algunos de estos microbios; otros están pendientes de descripción o incluso de ser descubiertos. Muchos de los microbios solo se encuentran allí, probablemente porque han tomado un camino distinto al de sus ancestros del exterior durante

los cincuenta y cinco millones de años que han transcurrido desde el origen del rumen.

Dentro del rumen, el proletariado bacteriano es el alimento de un grupo de protistas, todos unicelulares pero cientos o miles de veces más grandes que las bacterias. Los hongos parasitan a estos protistas infectando y reventando las células adiposas. Otros hongos flotan libremente en el líquido del rumen o colonizan pedacitos de materia vegetal. La diversidad de la vida allí dentro permite la digestión completa de los restos vegetales. Ninguna especie puede digerir del todo una célula vegetal; cada una se encarga de una pequeña parte del proceso, tritura sus moléculas preferidas, consigue la energía que necesita para crecer y después devuelve los desechos al líquido del rumen. Estos desechos son el alimento de otro ser vivo, y así se va construyendo una red de desmontaje en cascada. Las bacterias, con la ayuda de algunos hongos, destruyen la mayor parte de la celulosa. Los protistas son especialmente aficionados a los granos de almidón, quizá porque los consideran patatas con las que acompañar su menú de salchichas bacterianas. Los nutrientes del rumen pasan por una red trófica en miniatura y después se los devuelve al líquido del rumen, imitando los ciclos de nutrientes de ecosistemas más grandes. La barriga del ciervo contiene su propio mandala, un intrincado baile de vidas, sustentado por bocas y dientes hambrientos. Los rumiantes jóvenes tienen que poblar su rumen desde cero, un proceso que dura varias semanas. Durante este tiempo mordisquean a su madre, el suelo y la vegetación, con lo que recogen y tragan los microbios que se convertirán en sus ayudantes.

El ecosistema del rumen es un mandala abnegado, que encarna el cambio interminable. Los microbios se expulsan junto a las células vegetales digeridas. Viajan a la segunda parte del estómago del ciervo, donde los inundan los jugos gástricos y ácidos. Para estos microbios, la hospitalidad del intestino ha llegado a su fin. El posadero los mata y digiere, y se embolsa sus proteínas y vitaminas junto a los restos vegetales licuados.

El rumen retiene los sólidos vegetales y los microbios que se aferran a ellos, con lo que la digestión completa de la planta y la continuidad de la comunidad microbiana del rumen quedan aseguradas. El ciervo acelera la descomposición de estos sólidos devolviéndolos a la boca, rumiándolos y tragando los restos pulverizados. Esta rumia permite que el ciervo engulla su comida sobre la marcha y que después la mastique en un escondite seguro, lejos de sus depredadores.

Con el cambio de las estaciones, el ciervo pace de distintas partes de la planta. El alimento leñoso del invierno es follaje en primavera y bellota en otoño. El rumen se adapta a estos cambios a través del crecimiento o decrecimiento de su población. Las bacterias aptas para digerir hojas tiernas aumentan en primavera y disminuyen en invierno. No es necesario un control centralizado por parte del ciervo para dirigir este cambio; la competencia entre los habitantes del rumen hace que las capacidades digestivas de este se correspondan automáticamente con el alimento disponible en cada momento. Sin embargo, los cambios repentinos en la dieta pueden desbaratar este elegante amoldamiento de la población del rumen a su entorno. Si a un ciervo se le da maíz y verdura de hoja en mitad del invierno, el rumen perderá el equilibrio, se hinchará por culpa de los gases y la acidez subirá descontroladamente. Una indigestión de este tipo puede resultar letal. Los rumiantes jóvenes se enfrentan a un problema digestivo similar cuando se amamantan de sus madres. La leche se fermentaría y produciría gases en el rumen, especialmente en animales jóvenes cuyos rúmenes los microbios todavía tienen que acabar de colonizar. El reflejo de succión provoca por tanto la apertura de un desvío que manda la leche más allá del rumen, a la siguiente parte del estómago.

No es frecuente que la naturaleza imponga cambios drásticos de dieta a los rumiantes, pero cuando son las personas las que alimentan a vacas, cabras u ovejas domesticadas, tienen que velar por las necesidades del rumen. Estas necesidades no coinciden necesariamente con los deseos de los mercados de materias primas, de modo que el equilibrio del rumen es la pesadilla de la agricultura

industrial. Cuando se saca a las vacas de los pastos y se las confina de repente en comederos para cebarlas con maíz, hay que darles medicación para apaciguar a los pobladores del rumen. Solo aplastando a los ayudantes microbianos podemos intentar imponer nuestra voluntad a la carne vacuna.

Cincuenta y cinco millones de años de perfeccionamiento del rumen frente a cincuenta años de agricultura industrial: nuestras posibilidades de victoria son dudosas.

Los indicios del paso del ciervo por el mandala son sutiles. A primera vista, los arbustos y los árboles jóvenes parecen intactos. Solo al observarlos de cerca se descubre la ausencia de las puntas de las ramas y los cabos cortos y amputados de los brotes laterales. Más o menos la mitad de la docena de tallos del arbusto del mandala están recortados, pero ninguno podado como un muñón. Deduzco que los ciervos y sus compañeros microbianos visitan a menudo el mandala, aunque los ciervos no se mueren de hambre. Pueden permitirse mordisquear las puntas suculentas de las ramitas y dejar los tallos leñosos. En los bosques del este de Estados Unidos, este carácter selectivo de los ciervos de cola blanca se está convirtiendo en un lujo amenazado. En buena parte de la zona de distribución del ciervo, las defensas de las plantas se despliegan en vano: la población de ciervos ha crecido rápidamente, y los dientes y rúmenes de estas hordas en expansión han esterilizado los árboles jóvenes, arbustos y flores silvestres del bosque.

Muchos ecólogos sostienen que el reciente crecimiento de la población de ciervos es una catástrofe a escala continental. Igual que ocurre cuando el rumen recibe maíz en pleno invierno, se aboca a los venados a un desequilibrio artificial. Los cargos contra el ciervo parecen irrebatibles. El número de ciervos crece. La población de plantas desciende. Las aves que anidan en los arbustos no encuentran lugares de anidamiento. En el césped de las afueras de las ciudades acechan enfermedades transmitidas por las garrapatas. Hemos eliminado a los depredadores: primero a los indios americanos, después a los lobos y finalmente a los cazadores

modernos, cuyo número se reduce cada año. Los campos y las ciudades han fragmentado el bosque y han dado lugar al hábitat fronterizo en el que a los ciervos les encanta alimentarse. Hemos cuidado con esmero las poblaciones de ciervos con leyes de protección que regulan la temporada de caza de modo que tenga el menor impacto posible en la población de ciervos. ¿Parece que la viabilidad del bosque está en peligro, no?

Quizá. Sin embargo, una perspectiva más amplia arroja sombras de incertidumbre a este retrato en blanco y negro del papel del ciervo en los bosques del este. Nuestros recuerdos culturales y científicos sobre el aspecto que debería tener un bosque "normal" surgieron en un momento determinado de la historia, un momento en que, por primera vez en milenios, se había expulsado a los ciervos del bosque. La caza comercial a gran escala de finales del siglo XIX llevó a la población de ciervos al borde de la extinción y así quedaron eliminados de la mayor parte de Tennessee, incluido este mandala. Ningún ciervo visitó este lugar entre 1900 y 1950. A partir de entonces, la puesta en libertad de ciervos procedentes de otras partes, junto a la eliminación de linces rojos y perros asilvestrados, hizo que la población de ciervos aumentara progresivamente hasta la década de 1980, en que los ciervos volvían a abundar. A través de los bosques del este, se reprodujo un patrón parecido.

Esta historia distorsiona nuestra comprensión científica del bosque. La mayoría de los estudios científicos sobre la ecología forestal del este de Norteamérica se llevó a cabo en unos bosques en los que, contrariamente a lo que hubiera sido normal, no pacían animales. Esto fue así especialmente en el caso de los estudios más antiguos que utilizamos como punto de referencia para medir el cambio ecológico. La referencia es engañosa: los rumiantes y otros grandes herbívoros no han estado ausentes en ningún otro momento de la historia de estos bosques. Nuestra memoria, por tanto, recuerda un bosque anormal, que renquea sin sus grandes herbívoros.

Esta historia dibuja posibilidades inquietantes. Puede que las flores silvestres y las currucas que anidan en los arbustos estén

viviendo el fin de una era de facilidades inusual. Puede que el pacer intensivo de los ciervos esté devolviendo el bosque a su estado habitual, poco denso y despejado. Los diarios y las cartas que conservamos de los primeros colonos europeos respaldan estas ideas. Desde Virginia, Thomas Harriot escribió que "en algunas partes hay gran cantidad de ciervos"; Thomas Ashe nos informa en 1682 de que "hay infinidad de manadas, hasta el punto de que todo el país parece un parque de caza"; el barón de La Hanton insiste en la cuestión en 1687: "No puedo expresar la cantidad de ciervos y pavos que se encuentran en estos bosques".

Los escritos de estos colonos europeos dan ideas pero no zanjan la cuestión. Es probable que sus cartas estén sesgadas por el deseo de reforzar el proyecto colonizador, y ellos se internaban en un continente cuyos ocupantes humanos, la mayoría de los cuales eran cazadores, acababan de ser diezmados por la enfermedad y el genocidio. Sin embargo, los relatos de los supervivientes de ese genocidio y los indicios arqueológicos que dejaron sus ancestros sugieren que los ciervos abundaban incluso antes de que llegaran los europeos. Los indios americanos desbrozaban y quemaban los bosques para favorecer el crecimiento de nueva vegetación que, a su vez, aumentaba la fecundidad de los ciervos. La carne y la piel de este animal permitían sobrevivir al invierno, y los espíritus en forma de ciervo bailaban en la mitología de estos primeros habitantes humanos de las Américas. Toda la información histórica y arqueológica apunta por tanto a la misma conclusión: abundantes ciervos habitaban nuestros bosques antes de que las escopetas acabaran con ellos en el siglo XIX. Los bosques sin ciervos de principios y mediados del siglo XX eran una aberración.

Los argumentos en contra de nuestra fobia actual a los ciervos se refuerzan si volvemos la vista atrás, más allá de la llegada de los seres humanos a este continente. El bosque templado ha venido creciendo en América del Norte durante los últimos cincuenta millones de años. En aquellos tiempos lejanos, se expandió en una franja ancha a través de Asia, Norteamérica y Europa. Esta franja se fragmentó debido al enfriamiento del clima de la tierra y, en

particular, debido a las glaciaciones periódicas que desplazaron los bosques templados al sur y después los volvieron a llevar al norte a medida que el hielo se iba retirando. En la actualidad los restos de este bosque crecen en zonas muy distantes entre sí de China oriental, Japón, Europa, la altiplanicie mexicana y el este de Norteamérica. En el baile del bosque templado a través de los continentes siempre hay una melodía fija: la presencia de mamíferos ramoneadores, a menudo en gran número.

El ciervo que atravesó el mandala es uno de los últimos representantes de un bestiario herbívoro mucho más amplio. Los perezosos terrestres gigantes arrastraban sus cuerpos del tamaño de un rinoceronte a través del bosque y pacían de la vegetación. Les acompañaban bueyes almizcleros, osos herbívoros gigantes, tapires de nariz larga, pecaríes, bisontes americanos de bosque, varias especies extinguidas de ciervos y antílopes y, los más impresionantes de todos, los mastodontes. Estos últimos eran parientes del elefante actual, provistos de colmillos y con la cabeza baja y ancha. Medían tres metros de altura hasta los hombros y pacían en el límite septentrional de los bosques del este. Como muchos otros herbívoros, se extinguieron al final de la última glaciación, hace unos once mil años. Las glaciaciones iban y venían, pero ese deshielo trajo consigo a un nuevo depredador, el ser humano. Poco después de su llegada, la mayoría de grandes herbívoros ya eran historia. A los mamíferos pequeños prácticamente no les afectó esta extirpación; solo desaparecieron los animales grandes y carnosos.

Las pruebas fósiles de la existencia de estos grandes herbívoros abundan en las cuevas y ciénagas de todo el este de Estados Unidos. En el siglo XIX, estos fósiles animaron el debate sobre la evolución. Darwin pensó que estos animales eran un argumento más a favor de la idea de que el mundo natural siempre iba cambiando. Comentó que "es imposible reflexionar sin asombro sobre el estado del continente americano. En otros tiempos tuvo que estar lleno de grandes monstruos; hoy en día encontramos simples pigmeos en comparación con las razas afines precedentes". Thomas Jefferson discrepaba, ya que creía que los perezosos gigantes y otras criaturas

todavía debían vivir en alguna parte. A fin de cuentas, ¿para qué las habría creado Dios si después iba a acabar con ellas? La creación era un reflejo de la obra perfecta de Dios, de modo que la naturaleza se delataría a sí misma si había piezas que podían caer. Jefferson mandó que los exploradores Lewis y Clark volvieran con informes sobre esas criaturas de su viaje a la costa del Pacífico. La expedición no encontró ningún indicio de mastodontes, perezosos o cualquier otro animal extinguido. Darwin tenía razón: pueden perderse elementos de la creación.

Igual que el ciervo dejó huellas en su visita al mandala, los herbívoros que se han extinguido han dejado marcas en la arquitectura de algunas de nuestras plantas autóctonas. La acacia de tres espinas y el acebo presentan tallos y hojas con pinchos. Estas espinas se extienden solo hasta tres metros de altura, el doble de la altura máxima a la que pueden acceder los herbívoros vivos pero exactamente la altura correcta para disuadir a los grandes ramoneadores ya extinguidos. La acacia de tres espinas está doblemente desfasada porque sus vainas, que miden unos sesenta centímetros de largo, son demasiado grandes para que cualquier especie autóctona viva las coma enteras y disperse así sus semillas, aunque tienen el tamaño perfecto para grandes herbívoros ya extinguidos como los mastodontes y los perezosos terrestres. Un socio que ha muerto también le dispersaba las semillas al fruto blanquecino del naranjo de Luisiana. En otros continentes, comen frutas similares los elefantes, los tapires y otros grandes herbívoros del tipo que solo existe como fósil en Norteamérica. Estas plantas enviudadas no pueden ocultar su historia y nos dejan entrever la pérdida que sufrió el bosque en su conjunto.

Siempre se nos escapará la estructura de los bosques antiguos, pero los huesos de los ramoneadores ya extinguidos y los relatos de los primeros americanos sugieren que no se trataba de un entorno propicio para el crecimiento de arbustos y árboles jóvenes. Los bosques norteamericanos han vivido cincuenta millones de años de ramoneo, seguidos de diez mil años de herbivoría mamífera drásticamente reducida y cien años anómalos sin nada de ramoneo.

¿Eran los bosques antiguos moteados y poco densos, siempre podados por manadas de herbívoros errabundos? Desde luego, estos herbívoros tenían sus propios enemigos, hoy en día desaparecidos o prácticamente desaparecidos. El félido dientes de sable y el lobo gigante se extinguieron; el lobo, el puma y el lince rojo son poco comunes. En el oeste de Estados Unidos, tanto el león americano gigante como el guepardo se alimentaban de ramoneadores. La existencia de todas estas especies de grandes carnívoros constituye una prueba suplementaria de la abundancia de herbívoros. Los félidos y lobos gigantes necesitan cantidades igualmente gigantes de comida. Los únicos lugares del mundo que sustentan a grandes poblaciones de carnívoros están bien surtidos de ramoneadores. A fin de cuentas, lo que comen los carnívoros no es más que materia vegetal pasada por la red trófica. De modo que la abundancia de pruebas fósiles de grandes depredadores es un indicio claro de ramoneo intensivo.

Los seres humanos han terminado con algunos depredadores pero últimamente han aportado tres nuevas criaturas ciervicidas: los perros domésticos, los coyotes alóctonos que vienen del oeste y los parachoques de los coches. Los dos primeros son depredadores eficaces de cervatos; el último es la principal causa de muerte de adultos en las afueras de las ciudades. Nos enfrentamos a una ecuación imposible. De un lado tenemos la pérdida de decenas de especies de herbívoros; del otro tenemos la sustitución de un tipo de depredador por otro. ¿Qué nivel de ramoneo es normal, aceptable o natural en nuestros bosques? Se trata de preguntas de difícil respuesta, pero lo que es seguro es que la exuberante vegetación forestal que creció en el siglo xx se enfrentó a un nivel de ramoneo inusualmente bajo.

Un bosque sin grandes herbívoros es como una orquesta sin violines. Nos hemos acostumbrado a las sinfonías incompletas y nos genera rechazo que vuelvan las notas incesantes de los violines y desplacen a los instrumentos con los que estamos familiarizados. Esta reacción violenta contra el retorno de los herbívoros no tiene fundamento histórico. Deberíamos adoptar una visión más amplia,

escuchar la sinfonía entera y rendir homenaje a la asociación entre animal y microbio que le ha hincado el diente a los árboles jóvenes desde hace millones de años. Adiós, arbustos; hola, garrapatas. Bienvenidos de nuevo al Pleistoceno.

16 DE FEBRERO

EL MUSGO

La superficie del mandala es un tumulto de agua que crepita cuando las nubes descargan, paran y vuelven a lanzar más artillería. Los batallones de lluvia que el viento ha traído desde el golfo de México han tomado el bosque toda la semana. Parece que el mundo esté hecho de agua que fluye y estalla.

El musgo se regocija con la humedad. Se arquea hacia la lluvia, hinchado y verde. Su transformación es sorprendente. Hace una semana colgaba reseco y descolorido de las rocas del mandala, aplastado por el invierno. Ahora ya no. Su cuerpo ha aprovechado la energía de las nubes.

Mi propia desecación invernal me ha dejado con ganas de renovación húmeda y verde y miro más de cerca. Me tumbo en el borde del mandala y apoyo la cara en el musgo. Huele a tierra y vida, y su belleza aumenta exponencialmente con la proximidad. Todavía quiero más; saco una lupa y aprieto el ojo contra ella mientras me acerco a rastras.

En la cara de la roca se entremezclan dos tipos de musgo. Sin llevármelos al laboratorio para examinar la forma de sus células con el microscopio no los puedo identificar a ciencia cierta, o sea que los observo sin darles nombre. Una de las especies está tendida sobre cuerdas gruesas y cada cuerda está envuelta en folíolos poco espaciados. Desde lejos los tallos parecen rastas vivientes; si se miran más de cerca se puede ver que los folíolos se hallan dispuestos en elegantes espirales que se van duplicando, como pétalos verdes repetidos una y otra vez. La otra especie está erguida

y sus tallos echan ramas como píceas en miniatura. Los retoños de ambas especies son verdes como los cogollos. El color se vuelve más oscuro detrás de las puntas y se convierte en el verde oliva de las hojas de roble maduras. La luminosidad domina este mundo; cada hoja tiene el grosor de una capa de células, de modo que la luz baila y fluye a través del musgo, lo que le da un brillo interno. El agua, la luz y la vida han unido sus fuerzas y han descerrajado la cerradura del invierno.

A pesar de su vigor verde, no se trata con demasiado respeto a los musgos. Los manuales los tachan de reductos primitivos de otros tiempos, prototipos superados por plantas más avanzadas como los helechos y las plantas de floración. Esta idea del musgo como vestigio evolutivo es dudosa por varios motivos. Si los musgos fueran paletos atrasados en vías de extinción ante la superior modernidad, sería esperable encontrar pruebas fósiles de un periodo de gloria anterior, seguido de un lento descenso hacia la oscuridad. Sin embargo, los escasos restos fósiles muestran todo lo contrario. Más aún, los fósiles de las primeras plantas terrestres primitivas se parecen poco a los folíolos cuidadosamente dispuestos y a los tallos de fruto tan elaborados del musgo moderno.

Las comparaciones genéticas corroboran el relato de los fósiles y muestran que el árbol genealógico de las plantas se dividió en cuatro ramas principales, cada una de las cuales ha estado separada del resto durante casi quinientos millones de años. El orden en que esas plantas se dividieron todavía está sujeto a debate, pero puede que las hepáticas, trepadoras con piel de caimán aficionadas a las orillas de los arroyos y a las caras húmedas de las rocas, hayan sido las primeras en divergir. Después se escindieron los ancestros de los musgos, seguidos de los antocerotófitos, que son los parientes más cercanos de los helechos, las flores y sus familiares. La forma de ser de los musgos ha evolucionado y ni hoy es ni nunca ha sido una etapa en el camino hacia una forma más "elevada".

Miro a través de la lupa y veo agua en todos los rincones del musgo. En los ángulos entre hojas y tallos el agua queda atrapada en charquitos plateados y curvos, cazada por la tensión superficial.

Las gotitas no fluyen, se sujetan y trepan. Parece que el musgo haya eliminado la gravedad y que haya encantado serpientes de líquido rampantes. Este es el mundo del menisco, la superficie de agua que sube por la pared de un vaso de cristal. Y el musgo es todo borde de cristal, una arquitectura que invita al agua y después la atrapa en su centro laberíntico.

Nos cuesta entender la relación del musgo con el agua. Nuestras cañerías son internas, ningún tubo o bomba está a la vista. También los árboles tienen los conductos bajo la piel. Incluso en nuestras casas las instalaciones van por dentro. Mamíferos, árboles y casas pertenecen al mundo de lo muy grande. El micromundo del musgo funciona con otras reglas. La atracción eléctrica entre el agua y las superficies de las células vegetales es una fuerza poderosa en las distancias cortas, y los cuerpos de los musgos están esculpidos para dominar esa atracción y mover y almacenar agua en sus complejas fachadas.

Unas ranuras en la superficie de los tallos llevan el agua del interior húmedo del musgo a las puntas secas, de la misma forma que cuando se moja papel de seda. Los tallos minúsculos están recubiertos de rizos que se aferran al agua, y las hojas están salpicadas de bultos que generan una superficie extensa donde retenerla. Las hojas brotan del tallo justo con el ángulo adecuado para sostener una medialuna de agua. Estas gotas atrapadas están conectadas entre sí por el agua que queda en los pelos lanosos y en las arrugas de la superficie. Los cuerpos de los musgos son como pantanosos deltas de río reproducidos en miniatura y colocados verticalmente. El agua se arrastra del cenagal a la laguna y finalmente al riachuelo, y la humedad lo envuelve todo. Cuando se terminan las lluvias, el musgo ha retenido de cinco a diez veces más agua en su cuerpo que la que contienen sus células. Cuenta con una joroba de camello botánica cuando camina fatigosamente por largos trechos de aridez.

Los musgos siguen un manual de arquitectura distinto del de los árboles, pero el resultado final probablemente es igual de complejo y ciertamente igual de eficaz en cuanto a la supervivencia evolutiva a

largo plazo. Con todo, la sofisticación del musgo no termina en el transporte y el almacenaje de agua. Cuando hace una semana empezaron las lluvias, provocaron una cascada de cambios fisiológicos que hicieron posible el crecimiento exuberante que puede contemplarse hoy. En primer lugar, el agua envolvió el musgo seco, después se filtró dentro de las finas paredes leñosas de cada célula y alisó la superficie de las pasas de dentro. Estas pelotas arrugadas son células vivas aletargadas, y la piel de cada una está preparada para absorber el don de la lluvia. Las células se hinchan, la piel aprieta la pared leñosa y la vida renace.

El empuje de miles de células hincha la planta y saca al musgo de su abandono invernal. En los extremos de cada hoja, grandes células curvas se hinchan con el agua y presionan las hojas hasta alejarlas del eje del tallo, lo que abre espacios donde retener agua y orienta la cara de las hojas hacia el cielo. Las superficies cóncavas interiores retienen el agua, mientras que las superficies convexas exteriores recogen la luz solar y el aire para producir el alimento de los musgos. La hinchazón debida a la lluvia convierte a cada hoja en recolectora de agua y receptora de sol, en raíz y rama.

Dentro de las células reina la confusión. El agua que entra en tromba revuelve sus entrañas. Las membranas humedecidas aflojan tan rápido que algunos de los contenidos de las células se escapan. La planta pierde esos azúcares y minerales para siempre; es el coste de la flexibilidad. Sin embargo, el desorden no se mantiene. Antes de secarse, el musgo abastece sus células de sustancias químicas reparadoras. Ahora que las células se han hinchado, estas sustancias restituyen y estabilizan la maquinaria inundada de las células. Tan pronto como la célula humedecida recupera el equilibrio, se reabastece de sustancias químicas reparadoras. La célula también se llena de azúcares y proteínas que protegen la maquinaria cuando el tiempo se vuelve más seco.

Por tanto, los musgos siempre están equipados para sobrellevar tanto la sequía como las inundaciones. Casi todas las plantas tienen una visión más laxa de la preparación para una eventual emergencia y construyen su kit de supervivencia desde cero cuando las cosas se

complican. Construir ese kit lleva tiempo, de modo que unas condiciones repentinamente secas o lluviosas matan a los rezagados pero no a los musgos.

La preparación concienzuda no es la única manera en que los musgos superan la sequía. Pueden soportar extremos de aridez que tostarían y destrozarían las células de otras plantas. Al cargar sus células de azúcar, los musgos secos cristalizan en azúcar piedra, vitrificando y conservando las entrañas de las células. El musgo seco sería sabroso si no fuera por la capa fibrosa y el condimento amargo de las células confitadas.

Quinientos millones de años de vida en tierra han convertido a los musgos en expertos coreógrafos del agua y la química. Los exuberantes matorrales de musgo de las rocas del mandala ilustran las ventajas de un cuerpo flexible y una fisiología ágil. Los árboles, matas y hierbas de alrededor todavía cargan con las cadenas del invierno, pero los musgos se han quitado los grilletes y pueden crecer libremente. Los árboles no sacan partido del primer deshielo. Más adelante cambiarán las tornas y los árboles utilizarán las raíces y sus cañerías internas para dominar el verano del mandala, dando sombra a los musgos sin raíces que están a sus pies. Pero por el momento los árboles están paralizados por su tamaño descomunal.

El ímpetu de los musgos hacia el final del invierno produce beneficios que se extienden más allá de su propio crecimiento. La vida río abajo del mandala se aprovecha del agua que retienen. La energía cinética del temporal barre la ladera, pero el agua que mana del mandala está limpia, sin rastro del barro y el cieno que abunda en los campos y los pueblos de los alrededores. Los musgos y la gruesa hojarasca del bosque absorben la humedad y ralentizan las gotas de lluvia hasta el punto de convertir el asalto de artillería a la tierra en una caricia. Cuando el agua corre montaña abajo, una trama de hierbas, arbustos y raíces de árboles mantiene la tierra en su sitio. Cientos de especies trabajan en el telar, entretejen la urdimbre y la trama, y producen una tela fibrosa y resistente que no se rasga con la lluvia. En cambio, en los campos de trigo joven y en

el césped de las afueras de las ciudades, las raíces son poco densas y abiertas y no sostienen la tierra.

El papel del musgo no es solo actuar como primera línea de defensa contra la fuerza erosiva del agua. Al no tener raíces, el musgo capta el agua y los nutrientes del aire. Su superficie rugosa retiene el polvo y puede conseguir una buena dosis de minerales con un soplo de viento. Cuando ese viento va cargado de acidez procedente de los tubos de escape o de metales tóxicos provenientes de las centrales eléctricas, los musgos dan la bienvenida a la porquería con los brazos abiertos y húmedos, y atraen la contaminación. Los musgos del mandala limpian la lluvia de desechos industriales capturando y reteniendo los metales pesados de los tubos de escape y el humo de las centrales eléctricas alimentadas con carbón.

Cuando la lluvia se va, la esponjosidad de los musgos retiene el agua y después la libera lentamente. Los bosques cuidan por tanto la vida río abajo, protegiendo a los ríos de repentinas crecidas y manteniendo un cierto caudal durante los periodos secos. La humedad del bosque produce nubes al evaporarse y, si el bosque es suficientemente grande, genera su propia lluvia. Normalmente aceptamos estos dones sin ser conscientes de nuestra dependencia, pero a veces la necesidad económica nos saca de nuestro adormecimiento. La ciudad de Nueva York decidió proteger las montañas de Catskill antes que mandar construir una purificadora de agua. Los millones de mandalas musgosos de las Catskill eran más baratos que una "solución" tecnológica. En algunas cuencas de Costa Rica, los usuarios de agua río abajo pagan a los propietarios de bosques río arriba por los servicios que les prestan los terrenos forestales. De este modo la economía humana se inspira en la realidad de la economía natural y talar el bosque presenta menos incentivos.

En el mandala la lluvia sigue cayendo con fuerza. Desde donde estoy sentado oigo el rugir de dos arroyos, uno a cada lado y ambos a un mínimo de cien metros de distancia. La crecida ha convertido el sonido de lo que suelen ser dos hilitos sosegados en una agitación

tremenda. Después de una hora larga de acurrucarme con el impermeable, me agobia el tumulto incesante. Los musgos, en cambio, parecen encontrarse más que nunca como en casa. Quinientos millones de años de evolución los han convertido en los reyes de los días lluviosos.

28 DE FEBRERO

LA SALAMANDRA

Una pata aparece fugazmente entre la hojarasca. Sigue el muñón de una cola y después desaparece entre las capas de hojas mojadas. No cedo a la tentación de levantar las hojas, sino que aguardo con la esperanza de que la salamandra vuelva a dejarse ver. Algunos minutos después asoma una cabeza reluciente y sale corriendo al aire libre. Se mete en otro hoyo, reaparece, se echa una carrera, tropieza con un pecíolo y cae en un hueco con una torpe voltereta. Sobresaltada, la salamandra se endereza y trepa hasta salir de la depresión, y finalmente agacha la cabeza y se esconde debajo de una hoja muerta. La neblina fría vuelve denso el aire y no veo más allá de un par de metros, pero la salamandra brilla como si estuviera iluminada por un rayo de sol de lo más nítido. La piel lisa y oscura está moteada de plata. Por la espalda del animal se extienden rayas rojas y finas. La piel es extremadamente húmeda, como si una nube se hubiera condensado en materia animada.

Igual que a los musgos, a las salamandras les encanta la humedad, pero no pueden utilizar la misma estrategia de aquellos, es decir, secarse y aguantar hasta las próximas lluvias. Lo que hacen es seguir el aire húmedo y fresco como nómadas, entrando y saliendo de la tierra según cambia la humedad. En invierno se resguardan de la helada debajo de rocas y peñas, y viven como trogloditas en la oscuridad subterránea, hasta siete metros bajo tierra. En primavera y otoño vuelven a salir y buscan hormigas, termitas y moscas pequeñas en la hojarasca. El calor seco del verano las confina de nuevo bajo tierra, aunque en las noches

húmedas de verano vuelven a la superficie para darse un festín sin peligro de deshidratarse.

La salamandra es el doble de larga que la uña de mi pulgar. Tiene el cuello y las patas flacos, lo que la identifica como miembro del género *Plethodon*, quizá una *ventralis* o una *serratus*. Que todas las especies de *Plethodon* sean de color variable y no estén demasiado estudiadas hace que me cueste identificarla con precisión. Por otro lado, nadie está del todo seguro de qué es una "especie" de salamandra: la naturaleza no se ajusta a nuestro deseo de trazar límites bien definidos.

Es una salamandra pequeña, o sea que probablemente se trata de un ejemplar joven, salido del cascarón a finales del verano pasado. El cortejo de sus padres fue en primavera, con delicados movimientos de patas y frotamiento de mejillas. La piel de la salamandra es un mosaico de glándulas odoríferas, de modo que las mejillas transmiten al frotarse susurros químicos y poemas de amor escritos con feromonas. Cuando la pareja ya se ha conocido, la hembra levanta la cabeza y el macho se desliza debajo de su pecho. Él camina hacia delante y ella le sigue y se sienta a horcajadas sobre su cola haciendo una conga de dos. Después de algunos pasos, él deposita un pequeño cono de gelatina con una cápsula de esperma encima. Vuelve a avanzar moviendo la cola y la hembra le sigue. Ella para y absorbe el esperma a través de un orificio musculoso. El baile termina y cada salamandra se va por su lado. Sus caminos ya no volverán a cruzarse.

La hembra busca la grieta de una piedra o la oquedad de un tronco para poner los huevos. Después los cubre con su cuerpo y permanece en el nido durante seis semanas, más tiempo del que la mayoría de pájaros cantores dedican a empollar los huevos. Les da vueltas para evitar que los embriones se peguen a los lados. También se come los huevos que mueren, con lo que previene que crezca moho y muera toda la nidada. Puede que otras salamandras visiten el nido con la intención de tomar un aperitivo de huevos y la madre que empolla las ahuyente. Indefectiblemente, las nidadas sin madre se infectan con hongos o se las comen los depredadores, así

que esa vigilancia es fundamental. Cuando las crías salen del cascarón, sus obligaciones maternales se han terminado, y la madre renovará sus escasas reservas de energía con la comida que encuentre por la hojarasca. Las salamandras jóvenes son versiones en miniatura de sus padres, se pasean ufanas por el bosque y no necesitan ayuda para alimentarse. Por lo tanto, en toda su vida la *Plethodon* que corre por el mandala no moja el pie en ningún arroyo, charco o laguna.

Este proceso de cría echa por tierra dos mitos. El primero es que los anfibios dependen del agua para criarse: la *Plethodon* es un anfibio no anfibio, cuya clasificación es tan escurridiza como el propio animal. El segundo mito es que los anfibios son "primitivos" y que por tanto no se preocupan por las crías. Esta última falacia se enmarca en teorías sobre la evolución del cerebro que sostienen que las funciones "superiores" como el cuidado de los hijos solo se dan en animales "superiores" como los mamíferos o las aves. La atenta vigilancia de la madre muestra que la preocupación por las crías está más extendida en el reino animal de lo que suponen los neurólogos amantes de las jerarquías. De hecho, muchos anfibios cuidan de sus huevos o sus crías, igual que lo hacen los peces, los reptiles, las abejas, los escarabajos y todo un zoo de padrazos "primitivos".

La salamandra joven del mandala estará uno o dos años alimentándose de lo que encuentre por la hojarasca antes de que alcance el tamaño suficiente para convertirse en sexualmente madura. Las *Plethodon* se ponen a la tarea con entusiasmo carnívoro. Las salamandras son los tiburones de la hojarasca; patrullan las aguas y devoran invertebrados pequeños. La evolución ha desechado los pulmones del género *Plethodon* para hacer de su boca una trampa más eficaz. Al eliminar la tráquea y respirar por la piel, la salamandra puede forcejear con sus presas sin que sus fauces se relajen para tomar aire. Las *Plethodon* han cerrado un trato con el Shylock de la evolución: una lengua mejor a cambio de unos pocos gramos de pulmón. Así se dan la gran vida con su préstamo de tres mil ducados y conquistan la hojarasca húmeda de los bosques del este de Estados Unidos. A día de hoy la apuesta ha

dado sus frutos, pero el usurero todavía podría exigir el pago inmediato de la deuda. Si la contaminación o el calentamiento global cambian las condiciones de la hojarasca, las especies de *Plethodon* tendrán dificultades para sobrevivir. De hecho, las proyecciones de cambio de hábitat debido al calentamiento global indican que las salamandras de montaña disminuirán de forma importante al desaparecer sus hábitats húmedos y frescos.

Nadie sabe cómo llegaron a carecer de pulmones las salamandras *Plethodon*. Todos sus parientes cuentan con ellos, aunque los que viven en arroyos de montaña los tienen más bien pequeños. En los arroyos fríos abunda el oxígeno, de modo que las salamandras de arroyo pueden servirse de la piel como órgano respiratorio. ¿Quizá las salamandras terrestres evolucionaran a partir de sus familiares de arroyo? Era la explicación preferida de los biólogos hasta que los investigadores analizaron con más detenimiento el registro geológico. Las piedras contaron una historia inesperada: las montañas del este eran pequeñas ondulaciones cuando se desarrollaron las salamandras *Plethodon*. Unas pendientes tan suaves no pudieron producir los arroyos impetuosos y fríos donde viven las salamandras de pulmones pequeños. Carecemos, pues, de un relato histórico que explique la falta de pulmones de las *Plethodon*.

Dentro de las dimensiones del mandala cabe casi todo el mundo de este animal. Los adultos son territoriales y rara vez se alejan más de unos pocos metros; algunos individuos se desplazan más lejos bajo tierra que por la superficie de la hojarasca. Este arraigo explica la diversidad de salamandras de bosque. Debido a que rara vez se alejan, es improbable que las salamandras de distintas vertientes de una montaña o valle se crucen. Las poblaciones locales se adaptan por tanto a las particularidades de su hábitat. Si esta divergencia se mantiene durante suficiente tiempo, las poblaciones que viven separadas pueden llegar a tener un aspecto diferente y a presentar rasgos genéticos distintos. A algunas incluso se las puede considerar "especies" diferentes, según la tendencia taxonómica del momento. Los Apalaches son rocas antiguas y en su extremo sur, donde se

encuentra el mandala, nunca estuvieron cubiertas de una capa de glaciares de la Edad de Hielo. Por lo tanto, las salamandras de aquí han tenido tiempo de estallar en una explosión de diversidad que no tiene parangón en ningún otro lugar del planeta.

Para desgracia de las salamandras, los bosques antiguos, cálidos y húmedos que dieron pie a la diversidad de estos anfibios también producen árboles de gran tamaño que pueden ser rentables comercialmente. Si estos árboles se talan dejando grandes claros, en la hojarasca desaparece la sombra y las salamandras mueren chamuscadas por el sol. Si el claro tiene la suerte de estar rodeado por un bosque maduro y se le deja tranquilo durante varias décadas, las salamandras vuelven poco a poco. Sin embargo, no llegan a abundar tanto como antes, aunque nadie sabe por qué. ¿Quizá los claros extensos echan por tierra los ajustes genéticos de las poblaciones locales? La tala también elimina árboles que al caer hubieran brindado grietas húmedas, nidos y rincones donde guarecerse del sol. En la jerga científica, a estos árboles que al caer dan vida se les llama "residuos leñosos de gran tamaño", un término que no parece digno de un elemento de la ecología forestal tan vivificante.

La salamandra del mandala crece entre el desorden de los árboles caídos en esta pequeña zona protegida de bosque primario, pero, aunque no es probable que se tale, el animal no está fuera de peligro. Esta salamandra no tiene cola probablemente porque se ha cruzado con un ratón, un ave o una culebra de collar amarillo. Cuando se las ataca, las salamandras sacuden la cola para distraer al depredador. En caso de necesidad, la cola se desprende y se agita violentamente, una maniobra de distracción que da tiempo para que se escape. Los vasos sanguíneos y los músculos de la base de la cola de las *Plethodon* han desarrollado la capacidad de cerrarse cuando pierden dicha extremidad. La base de la cola también tiene una piel más débil y es estrecha, probablemente para que la extremidad se desprenda sin dañar el resto del cuerpo. La evolución ha llegado por tanto a dos acuerdos con estos animales, ambos garantizados con su propia carne: una boca mejor al precio de carecer de pulmones y

una vida más larga al precio de la cola desprendible. El primer trato es irreversible; el segundo es temporal y queda borrado por el misterioso poder autorregenerador de la cola.

Las *Plethodon* cambian de forma como lo haría una nube. Su cortejo y crianza se resisten a nuestras categorías arrogantes, los pulmones los cambiaron por mandíbulas más fuertes, las partes de su cuerpo son desprendibles y, paradójicamente, les gusta la humedad, pero nunca se adentran en las masas de agua. Y, como a cualquier nube, les afectan los vientos fuertes.

13 DE MARZO

‘HEPATICA’

*H*a hecho buen tiempo toda la semana, como si se nos hubiera concedido un anticipo, intempestivo pero bienvenido, del mes de mayo. Las primeras flores silvestres de la primavera han notado el cambio y presionan desde debajo de la hojarasca, lo que provoca que el manto de hojas muertas, hasta ese momento liso, se abombe al irse abriendo paso los tallos y los capullos de las flores.

Me quito los zapatos durante la primera parte de mi camino al mandala, piso descalzo el sendero trillado y noto la calidez suave del suelo. El frío del invierno ya se ha ido. Mientras camino bajo la luz gris de antes del amanecer, los pájaros cantan a pleno pulmón. Los mosqueros fibís chirrían desde el acantilado, acompañados por herrerillos que silban desde las ramas bajas y pájaros carpinteros que cacarean desde árboles grandes más abajo del sendero. Tanto encima como debajo del suelo, la estación ha cambiado.

Compruebo que en el mandala un capullo de flor, concretamente de *Hepatica*, por fin ha atravesado la hojarasca, y el tallo se levanta un dedo del suelo. Hace una semana el capullo era como una uña de animal recubierta de pelusa plateada. Poco a poco, la uña se ha ido hinchando, engordándose y alargándose conforme el tiempo mejoraba. Esta mañana el tallo tiene la forma de un elegante signo de interrogación, cubierto todavía de pelusa, con la flor bien cerrada colgando de la punta de la curva señalando recatadamente hacia abajo y con los sépalos cerrados para protegerse de los asaltantes de polen nocturnos.

La flor se entreabre una hora después del alba. Los tres sépalos se despegan y dejan al descubierto los bordes de otros tres más adentro. Los sépalos están teñidos de púrpura y, a pesar de que la *Hepatica* carece de verdaderos pétalos, estos sépalos tienen su forma y función, ya que protegen la flor por la noche y atraen insectos durante el día. Su movimiento al abrirse es demasiado lento para que pueda percibirlo a simple vista. Solo al desviar la mirada y fijarla de nuevo consigo apreciar el cambio. Intento calmar la respiración, bajarla a la velocidad de la flor, pero el cerebro me va demasiado rápido y el movimiento delicado y lento se me escapa.

Pasa otra hora y el tallo se endereza; el signo de interrogación pasa a ser de exclamación. Ahora los sépalos están muy despegados, mostrando al mundo su brillo púrpura e invitando a las abejas a investigar la mata desordenada de anteras que lucen en medio. Una hora más y el signo de exclamación lo habrá escrito una mano apresurada, un poco echado para atrás, levantando la cara de la flor directamente hacia mí. Esta es la primera floración del año en el mandala. El alegre arqueo hacia el cielo del tallo parece un gesto adecuado de liberación y celebración primaverales.

El nombre de la flor, *Hepatica*, tiene una larga historia, que nos lleva a Europa occidental, donde una pariente cercana del mismo nombre se utilizó como hierba medicinal durante al menos dos mil años. El nombre hace referencia a las supuestas propiedades medicinales de la planta, sugeridas por la forma parecida al hígado de sus hojas trilobuladas.

La mayoría de las culturas acostumbran a relacionar la forma de las plantas con sus virtudes medicinales y así lo reflejan los nombres con que las designan. En la tradición occidental, un estudioso atípico codificó esta costumbre en un sistema teológico. En 1600, un zapatero alemán, Jakob Böhme, tuvo una visión deslumbrante sobre la relación de Dios con la creación. La magnitud y la fuerza vertiginosas de esa revelación lo arrancaron de su oficio de zapatero y empuñó la pluma. Surgió un libro, un torrente de palabras que pretendían transmitir la muda enormidad de su visión. Böhme creía

que el propósito de Dios con Su creación estaba inscrito en las formas de las cosas terrenales. La metafísica estaba garabateada en la carne. Escribió: "Todas las cosas llevan en su exterior las marcas de lo que son interna y esencialmente [y] representan aquello para lo que pueden ser útiles y buenas". Los humanos imperfectos y mortales podían por consiguiente deducir la función de las cosas de la apariencia exterior del mundo y podían contemplar los pensamientos del creador en las formas, colores y pautas de su creación.

La obra provocó que Böhme fuera expulsado de Görlitz, su ciudad natal. La iglesia y el ayuntamiento no estaban dispuestos a tolerar experiencias místicas no autorizadas. Pensaban que los zapateros tenían que concentrarse en cortar cuero y dejar las visiones para los cultos y los nobles. Más adelante se le permitió volver con la condición de que se olvidara de la pluma. Lo intentó y no lo consiguió; la fuerza de la visión lo llevó hasta Praga, donde retomó sus ensayos teológicos.

Las ideas de Böhme no se divulgaron hasta que los médicos botánicos supieron de su obra. Su doctrina les ayudó en su oficio, brindándoles un gabinete teológico en el que guardar sus hierbas medicinales. Muchos médicos ya utilizaban la forma externa de las plantas como ayuda nemotécnica para acordarse de sus propiedades medicinales: el jugo escarlata de la sanguinaria para los problemas de la sangre, las hojas dentadas y los pétalos blancos de *Cardamine diphylla* para el dolor de muelas, las raíces enroscadas de *Ageratina* para las mordeduras de serpiente y docenas de ejemplos más. Pues bien, los curanderos ya tenían una teoría con la que organizar y justificar sus prácticas: la forma, el color y la manera de crecer de las plantas indicaban la función curativa que Dios les había asignado. Las flores fragantes y vistosas del manzano servían para curar los problemas de fertilidad y de cutis; las plantas rojas y picantes llevaban el sello de la sangre y la ira, y por tanto podían emplearse para favorecer la circulación o el sosiego. Por su parte, las hojas púrpuras y trilobuladas de la *Hepatica* eran la señal del hígado.

El uso de rasgos externos para deducir y recordar las propiedades medicinales de las sustancias químicas del interior de las plantas dio en llamarse teoría de las signaturas. La idea se extendió por toda Europa y llamó la atención de la élite científica. Los estudiosos intentaron sacar del folclore la doctrina de los herbolarios e insertarla en la ciencia moderna de la astrología. La signatura de cada planta, sostenían, era un reflejo de la intención divina, pero lo era a través de la compleja cosmología de los planetas, la Luna y el Sol. La flor del manzano estaba regida por Venus, de ahí su belleza y sus poderes curativos. Júpiter regía todas las plantas hepáticas y Marte los bélicos pimientos. Una correcta diagnosis y tratamiento requerían por tanto que un científico competente preparara un horóscopo y confeccionara un remedio que incorporase su amplio y valioso conocimiento de las esferas celestes y de su influencia tanto en las plantas como en el cuerpo humano. El *establishment* científico clamaba contra el curanderismo rural de los botánicos simplones a la vez que se apropiaba de los remedios de los curanderos para utilizarlos en una medicina astrológica puesta al día.

Desde luego, esa tensión entre el *establishment* médico y los curanderos se mantiene. Hoy en día, la teoría astrológica de las signaturas ha caído en desgracia. Nuestros médicos ya no creen que Dios dejara pistas curativas providenciales en la forma de las hojas y en la disposición de las estrellas. No deberíamos, sin embargo, apresurarnos a tachar la teoría de las signaturas de superstición insignificante. Como método de transmisión cultural del conocimiento médico, la teoría fue un poderoso mecanismo organizador, más sofisticado y quizá más coherente que la nemotécnica utilizada por los médicos modernos para navegar por sus grandiosos almacenes de saber. El método dio pie a que los curanderos, la mayoría de los cuales no sabía leer, relacionaran los síntomas de los pacientes con los pormenores a veces crípticos de la identificación botánica y de los conocimientos médicos. Y persistió durante tantos años no porque nuestros ancestros fueran ingenuos, sino porque les era muy útil.

El nombre de *Hepatica* revela esa tendencia de nuestra cultura a nombrar a las plantas según su utilidad. Este método a la hora de poner nombre es un recordatorio de la dependencia de la humanidad respecto a las plantas para conseguir medicamentos y comida. Sin embargo, los nombres utilitarios también pueden impedir que percibamos la naturaleza en todo su alcance. Por ejemplo, nuestra nomenclatura se equivoca en cuanto a la teleología. La *Hepatica* no existe para servirnos, sino para vivir su propia historia, que empezó en los bosques de Europa y Norteamérica millones de años antes de que hubiera seres humanos. Asimismo, nuestra manera de nombrar impone categorías ordenadas a la naturaleza. Puede que estas no reflejen las complicadas genealogías e intercambios reproductivos de la vida. La genética moderna apunta a que los límites dentro de la naturaleza son a menudo más permeables de lo que suponemos cuando identificamos especies "separadas".

En esta mañana radiante de principios de primavera, la bienvenida confiada de la Hepatica a los primeros rayos de sol cálidos y a las abejas voladoras me recuerda que el mandala existe independientemente de las teorías de los seres humanos. Como todo el mundo, estoy condicionado por la cultura, de modo que solo en parte veo la flor; el resto de mi campo visual lo ocupan siglos de palabras humanas.

13 DE MARZO

CARACOLES

El mandala es un Serengueti de moluscos. Manadas de herbívoros enroscados cruzan la sabana sin fin de líquenes y musgos. Los caracoles más grandes viajan solos, recorren la superficie angulosa de la hojarasca y dejan las laderas musgosas para los jóvenes y ágiles. Me tumbo boca abajo y me acerco sigilosamente a un caracol de buen tamaño que bordea el mandala. Me pongo la lupa delante del ojo y me acerco un poco más a rastras.

A través de la lupa, la cabeza del caracol cubre todo mi campo visual como una escultura magnífica de cristal negro. La piel reluciente está decorada con manchas plateadas, y unas estrías pequeñas señalan longitudinal y transversalmente la espalda del animal. Mis movimientos lo ponen en guardia; el caracol retira los tentáculos y se embute en el caparazón. Aguanto la respiración y se relaja. Del mentón le salen unos pequeños bigotes, que se agitan en el aire antes de inclinarse y tocar la piedra. Estas antenas elásticas se mueven como los dedos al leer el alfabeto braille, palpan ligeramente y consiguen arrancar el significado de la escritura de la arenisca. Al cabo de algunos minutos surge otro par de tentáculos de la coronilla de la cabeza del caracol. Suben, cada uno con un ojo blanquecino en la punta, y saludan al dosel arbóreo. A mí también se me salen los ojos de las órbitas a través de la lupa, pero este globo monstruoso no parece preocuparle excesivamente al caracol, que extiende todavía más sus pedúnculos oculares. Estos mástiles carnosos superan la longitud del caparazón y se agitan de un lado al otro.

A diferencia de sus parientes, el pulpo y el calamar, este caracol terrestre no dispone de una lente sofisticada con que formar imágenes nítidas. Sin embargo, hasta qué punto ve el mundo borroso un caracol es un misterio. Los científicos se topan con dificultades a la hora de preguntarles a los caracoles qué perciben, y este problema de comunicación ralentiza la vanguardia de la investigación sobre la vista de los caracoles. El único éxito experimental en este campo viene de tomar prestados los trucos de los domadores de circo y enseñar a los caracoles a comer o a moverse cuando ven una señal. Hasta el momento, estos artistas gasterópodos han demostrado que son capaces de detectar pequeños puntos negros en una tarjeta blanca. También distinguen entre tarjetas grises y tarjetas a cuadros. Que yo sepa, nadie le ha preguntado todavía a un caracol si es capaz de ver los colores, el movimiento o un aro en llamas.

Estos experimentos son apasionantes, pero dejan de lado una cuestión más amplia: ¿qué es lo que "ve" un caracol? ¿Ve como vemos nosotros y en su mente de gasterópodo se le aparecen imágenes de tarjetas a cuadros? ¿Asiste a proyecciones privadas de luz y oscuridad, procesadas por marañas de nervios como decisiones, preferencias y significado? El cuerpo humano y el de los caracoles se componen de las mismas piezas húmedas de carbono y arcilla, o sea que si la conciencia emerge de esta tierra neurológica, ¿con qué fundamento le negamos al caracol sus imágenes mentales? Sin duda lo que ve es radicalmente distinto, una película experimental con planos extraños y formas que se tambalean, pero, si son nervios los que dan lugar al cine humano, debemos contemplar la asombrosa posibilidad de que los caracoles experimenten algo parecido. Sin embargo, el relato preferido de nuestra cultura es que la película del caracol se proyecta en una sala vacía. De hecho, el cine no tiene pantalla. Sostenemos que el caracol no tiene una experiencia interna subjetiva. La luz del proyector del ojo simplemente estimula los conductos y el cableado del caracol, lo que provoca que el cine vacío se mueva, coma, se aparee y mantenga la apariencia de vida.

La cabeza del caracol estalla y mis especulaciones quedan interrumpidas. Un nudo confuso de carne parte la cúpula negra. El nudo aflora, se extiende y entonces el caracol se vuelve y me mira. Los tentáculos forman una x y salen en forma radial de la protuberancia pastosa y burbujeante del centro. Asoman unos labios vidriosos, que delimitan una hendidura vertical, y todo el aparato se mueve con dificultad hacia abajo y aprieta los labios contra el suelo. Con los ojos como platos, observo como el caracol empieza a deslizarse por la piedra, levitando a través de un mar de líquenes. Unos pelos minúsculos que palpitan y las ondulaciones de músculos infinitesimalmente pequeños propulsan al herbívoro, negro como el ébano.

Echado boca abajo observo como el caracol se detiene entre escamas de líquenes y hongos negros que sobresalen de la superficie de hojas de roble. Aparto la lupa y de repente todo desaparece. El cambio de escala te arroja a un mundo distinto; el hongo es invisible, el caracol es un detalle sin importancia en un mundo dominado por cosas de mayor tamaño. Vuelvo al mundo de la lupa y descubro de nuevo los tentáculos vigorosos, la elegancia negra y plateada del caracol. La lupa me permite capturar la belleza del mundo y me abre los ojos de par en par. Nos perdemos auténticas delicias por culpa de las limitaciones de la vista humana.

La velada con el caracol termina cuando el sol se asoma detrás de una nube. La suave humedad de la mañana se ha disipado, y el caracol se dirige hacia una cumbre, o una roca más bien pequeña, según como se mire el mundo. El caracol toca la roca con un tentáculo, pone del revés la cabeza y se estira. El cuello y la cabeza se extienden como los de una jirafa, más, todavía más, hasta que la barbilla topa con la roca, se despliega como una plataforma de lanzamiento, y el caracol entero se levanta del suelo en una flexión con la barbilla y sin manos. La gravedad parpadea incrédula y el animal sube inverosímilmente y prosigue su viaje, del revés, hasta la grieta de la roca. Vuelvo la mirada fuera del mundo de la lupa y el Serengueti se ha vaciado. Los herbívoros se han evaporado con el sol.

25 DE MARZO

LAS EFÍMERAS PRIMAVERALES

El paseo hasta el mandala se ha vuelto un reto. Cada paso amenaza con chafar media docena de flores silvestres, de modo que piso con cuidado e intento escoger un camino que no deje una estela de belleza aplastada. La ladera de la montaña está abundantemente salpicada de verde y blanco, y la mitad de la superficie de la hojarasca cubierta de hojas y flores que acaban de brotar.

Es difícil, sin embargo, concentrarse en los pies cuando las primeras mariposas y currucas migratorias del año te sobrevuelan. Una *Polygonia comma*, una mariposa rojiza que debe su nombre al rizo blanco en su ala posterior, revolotea cerca de mi cabeza y se posa en un tronco de nogal americano. El calor del sol la ha despertado de su hibernación, que ha pasado escondida detrás de un trozo de corteza. Una reinita dorsiverde y un chipe trepador, ambos recién vueltos de Centroamérica, cantan desde el acantilado. La vida renovada del bosque parece salir a mi encuentro por todos lados y me levanta el ánimo con su vigor desenfrenado.

En el mandala me encuentro con una explosión de color blanco, un centenar de flores que brillan a la vista del mundo. Las *Claytonia virginica* con pétalos blancos rayados de rosa crecen a poca altura del suelo, entremezcladas con las hepáticas púrpuras. Algunas *Thalictrum thalictroides* sobresalen del borde del mandala, con las flores blancas inclinadas a un dedo de la hojarasca. La *Cardamine diphylla* es la que alcanza mayor altura, justo por encima del tobillo, y sus flores de pétalos blancos y largos se apiñan en la punta de unos tallos robustos. Cada flor arrastra una cola de cometa de brotes

verdes y lozanos, una erupción de vida que surge del manto de hojas muertas. El contraste con los árboles invernales encima del mandala es nítido. Los brotes de los árboles apenas han empezado a entreabrirse.

Las flores silvestres primaverales se aprovechan de la lentitud de los árboles y aceleran su reproducción y crecimiento antes de que el dosel arbóreo les robe la fuente de vida de los fotones. Aunque el sol de marzo todavía es bajo, los rayos tienen intensidad suficiente como para quemarme la nuca cuando estoy sentado. Hemos alcanzado el pico del ciclo anual de intensidad de luz bajo el dosel. Una fuerza abrasadora rompe la hegemonía del invierno y da paso a constelaciones de flores y a una cascada de vida animal.

Al conjunto de plantas que adornan el mandala se las llama efímeras primaverales. El nombre da cuenta de su meteórico resplandor en primavera y de su rápido fundido con el sol veraniego, pero no deja traslucir su secreta longevidad subterránea. Estas plantas salen de almacenes subterráneos; algunas crecen de tallos escondidos bajo tierra llamados rizomas y otras brotan de bulbos o tubérculos. Cada año las plantas mandan hojas y flores a la superficie para volver después a una aparente inactividad. Las flores se asoman al aire fresco de la primavera gracias al alimento almacenado el año anterior. Solo cuando a las plantas les salen hojas la fotosíntesis mejora su balance. Esta estrategia les ayuda a sobrevivir en el mundo saturado y falto de luz del mandala. Algunos de estos tallos son centenarios y han aparecido en el suelo del bosque después de que el tallo horizontal creciera algunos centímetros cada año. Estas plantas sobreviven gracias al alimento conseguido durante unas pocas semanas de sol primaveral.

Cuando las efímeras despliegan las hojas, captan luz y dióxido de carbono a un ritmo frenético. Los poros con los que las hojas respiran, los estomas, se abren de par en par. Las hojas están repletas de enzimas listas para fabricar moléculas nutritivas a partir del aire. Son como los adictos a la comida rápida del bosque: engullen a toda prisa e intentan acabar con el banquete antes de que los árboles les tapen la luz. Para sustentar esa glotonería, las

efímeras necesitan sol intenso. Sus cuerpos sobreexcitados no pueden aguantar la sombra.

Otras plantas del mandala siguen un camino más lento. El *Trillium sessile* asoma tres hojas moteadas entre las hepáticas y las *Claytonia virginica*, pero no busca el crecimiento acelerado. Las hojas del *Trillium sessile* tienen pocas enzimas con las que captar luz, de modo que no pueden igualar el ritmo de crecimiento de las efímeras. Su ahorro se ve recompensado cuando se cierra el dosel arbóreo; es barato mantener niveles bajos de enzimas, por lo que el *Trillium* puede obtener un beneficio azucarado en la sombra espesa del verano. Estamos en la salida de la carrera botánica anual cuya meta es el espacio limitado del mandala. La evolución ha generado una maravillosa diversidad de técnicas atléticas: la *Claytonia caroliniana* es un esprínter musculoso y el *Trillium* es un fondista flaco.

Los destellos de vida de las efímeras prenden fuego al resto del bosque. Al crecer, sus raíces dan un nuevo ímpetu a la vida oscura de la tierra, ya que absorben y retienen los nutrientes que las lluvias primaverales expulsarían del bosque. Cada raíz segrega una gelatina nutritiva y crea una vaina de vida alrededor de su punta peluda. Las bacterias, hongos y protistas abundan cien veces más en esta estrecha aureola, y estos organismos unicelulares proporcionan alimento a nematodos, ácaros e insectos microscópicos. Los herbívoros son la presa de habitantes de la tierra todavía mayores como el ciempiés de color naranja chillón que reluce yendo de aquí para allá por el mandala mientras observo sentado. La longitud del ciempiés es mayor que la anchura de mi mano y es tan grande que cuando el cuerpo se ondula entre las flores, su fuente de vida, distingo cada segmento de las patas.

Hace unos días me interrumpió en la contemplación de las flores un depredador más fiero que este ciempiés. Una bola de pelaje gris del tamaño de la palma de una mano salió disparada del suelo y después se metió en otro agujero, a la velocidad de una pelusa atraída por una aspiradora. Unos minutos después oí un murmullo y

chillidos agudos del otro lado del mandala. El pelo tiznado y la cola gruesa que vi me bastaron para saber que merodeaba por el mandala el terror de la hojarasca: una musaraña colicorta.

La vida de las musarañas es breve y violenta. Solo una de cada diez vive más de un año y las demás acaban quemadas por su metabolismo febril. Las musarañas respiran tan frenéticamente que no pueden sobrevivir demasiado tiempo en la superficie. En un ambiente seco, su respiración escandalosamente rápida las desecaría y mataría.

Estos animales se alimentan mordiendo a su presa e inoculándole saliva venenosa al masticar, a veces para matar al bicho que han atrapado y otras para paralizarlo y almacenarlo en una casa de los horrores, una despensa con presas vivas pero impedidas. Tan feroces son las musarañas que comen lo que se les ponga por delante. Traen de cabeza a los mastozoólogos. Si una musaraña queda atrapada con ratones en una trampa, los científicos se encuentran a la vuelta con un montón de huesos vigilados por un guardián gris con cara de pocos amigos.

El chillido que oí solo era el registro más grave del repertorio de las musarañas. La mayor parte de su cháchara es demasiado aguda para que mis oídos la detecten. Estos gritos agudos son su sónar. Las musarañas mandan chasquidos ultrasónicos, escuchan las ondas acústicas reflejadas y utilizan la ecolocación para orientarse por las madrigueras y localizar a las presas. Estos "submarinos terrestres" navegan sobre todo a partir del sonido. Tienen los ojos diminutos y los mastozoólogos no están de acuerdo sobre si son capaces de ver imágenes o si sencillamente perciben manchas de luz y oscuridad. Igual que los caracoles, la vista de las musarañas es un misterio.

La red trófica del suelo alcanza su cénit en la musaraña. Solo los búhos comen musarañas; todos los demás las evitan, temerosos de su mandíbula despiadada o del sabor acre de sus glándulas odoríferas.

En este caso hay parentesco con los seres humanos. Los primeros mamíferos eran animales parecidos a las musarañas que tenían atemorizados a los caracoles y ciempiés del Mesozoico.

Nuestros ancestros eran estridentes y feroces, y llevaban una existencia frenética en corredores oscuros. Resulta tentador trazar una analogía con nuestra situación actual. Afortunadamente hemos perdido los colmillos venenosos y las glándulas malolientes.

Las efímeras primaverales también prenden el fuego de la vida en la superficie. Unas abejitas negras vuelan de flor en flor y las descartan todas menos las de *Claytonia caroliniana*. Las abejas meten la cabeza en estas flores, sacian su apetito por el agua azucarada concentrada que conocemos como néctar y después hacen zumbar las patas por las anteras rosas que guardan polen. Al asomarse de nuevo al exterior, las abejas parecen trocitos de chocolate espolvoreados con azúcar glasé coloreado. Cuando echan a volar, de cada pata trasera les cuelgan las alforjas bien cargadas de polen rosa.

Los caramelos volantes son todos abejas hembra, recién salidas de sus madrigueras invernales. Van volando en busca de un nuevo emplazamiento para el nido en un pedazo de tierra blanda o en un tronco viejo. Las abejas excavan túneles que llevan al hogar elegido y pintan de secreciones brillantes las paredes de una habitación del nido; así mantienen las paredes unidas y evitan que el agua moje a sus delicadas crías. La madre forma una bola a partir de la mezcla de polen y néctar, desova un huevo encima y lo encierra en una pequeña célula con paredes de barro. La larva de abeja que sale del huevo se abre camino a mordiscos a través de la pasta de polen y se asoma al exterior varias semanas más tarde; todo su cuerpo se ha formado gracias a las flores. Esta dependencia del polen y el néctar se mantendrá durante el resto de la vida de la abeja. Las abejas no comen otra cosa; son las auténticas criaturas *flower power*.

Cuando salen al aire libre, las crías de algunas especies de abeja del bosque echan a volar para criar ellas mismas. Muchas otras especies se quedan en casa y renuncian a la posibilidad de desovar sus propios huevos. Estas abejas ayudantes se encargan de buscar comida y dejan que la fundadora, su madre, se especialice en desovar. Hay dos condicionantes que favorecen ese espíritu de

comunidad, uno ajeno a las abejas y otro que forma parte de sus genes.

El abarrotamiento del entorno de las abejas fomenta que las crías se queden en casa. La mayor parte del suelo del bosque es demasiado rocoso, demasiado húmedo o está cubierto de un grosor excesivo de hojarasca para poder hacer un buen nido. La competencia por los lugares aptos para nidificar es intensa, y las abejas hembra que intentan asentarse por su cuenta se enfrentan a altas probabilidades de fracaso. Quedarse en casa es una apuesta más segura, ya que si naciste ahí entonces por definición tu madre dio con un buen nido.

La genética de las abejas también decanta la balanza a favor de ayudar a mamá. Las abejas hembra nacen de huevos fecundados por esperma almacenado de la escapada amorosa otoñal de la madre, por lo que cuentan, igual que los seres humanos, con dos copias de todos sus cromosomas, uno de la madre y otro del padre. En cambio, el desarrollo de los machos se produce a partir de huevos no fecundados, de modo que solo disponen de una serie de cromosomas, heredados únicamente de la madre. Por lo tanto, todos los espermatozoides de las abejas son idénticos. Este curioso sistema genético genera parentescos todavía más curiosos. Las hermanas de una colmena de abejas están estrechamente relacionadas, se trata de una superhermandad de cromosomas. Mientras que los hermanos humanos comparten de media la mitad de la identidad genética, estas abejas hermanas comparten mucho más. La mitad del ADN que heredan del padre es idéntica y la mitad que heredan de la madre se divide a partes iguales entre las hermanas. La media de las aportaciones de los padres da por tanto como resultado tres cuartos de genes por ascendencia común. Si la abeja madre se apareó con más de un macho, este parentesco se reduce un poco, pero sigue siendo suficientemente alto como para afectar al proceso evolutivo.

La contabilidad de la evolución recompensa a los animales que ayudan a sus parientes cercanos e ignoran a los familiares más distantes. Normalmente eso significa que la mejor estrategia es criar

a la propia descendencia. Sin embargo, los genes de las abejas hembra las han preparado para estar tan dispuestas a ayudar a mamá a como lo estarían a irse de casa y criar por su cuenta. Así que cuando la abeja madre llena el nido primaveral de huevos fecundados, está formando una cohorte de hijas para quienes irse de casa es arriesgado y quedarse muy atractivo. Las abejas macho se encuentran con presiones distintas. Ningún extraño parentesco favorece que se queden en casa. Los hijos se comportan, pues, como sinvergüenzas aristocráticos y merodean por el nido, se pasean tranquilamente en busca de néctar y concentran su energía en perseguir abejas reinas vírgenes. Sus hermanas gastan poca paciencia con ellos y algunas veces los expulsan del nido a la fuerza.

Las tensiones entre hermanos y hermanas no son la única fuente de conflictos en el nido. Las abejas trabajadoras a veces intentan colar sus propios huevos en el criadero. La reacción de la reina consiste en comerse los huevos y liberar olores que eliminan la capacidad de desovar de sus engreídas hijas, lo que refuerza la influencia, ya considerable, del parentesco genético. A veces varias hembras que pasan el invierno juntas fundan una colonia y se enredan en un tira y afloja sobre quién desova más. La ganadora normalmente se convierte en reina, pero las cofundadoras siguen intentando desovar por su cuenta.

Los conflictos familiares no son la única fuente de tribulaciones en los nidos de abejas. Las larvas indefensas y las nutridas reservas de polen y miel son objetivos atrayentes para los asaltantes, muchos de los cuales están bien representados hoy cerca de las flores del mandala. Los más especializados y exitosos de estos piratas son los bombílidos. Los adultos son inocuos e incluso cómicos; vuelan a toda velocidad de flor en flor y sorben néctar mediante una probóscide rígida que señala el camino al cuerpo naranja, suave y sedoso como un plumero. Sin embargo, esta adorable payasada de borrachín floral termina cuando la hembra suelta su huevo delante de un nido de abejas. Se parte el cascarón y una larva parecida a un gusano se arrastra nido adentro para alimentarse de las reservas de polen y miel de sus moradoras. Entonces el gusano se muda en una larva

depredadora que devora la larva de abeja cuya célula se ha robado. Ya saciado, el bombílido larva se encierra y aguarda bajo tierra. Cuando las efímeras activan la vida del mandala en la siguiente primavera, los bombílidos salen de sus crisálidas, metamorfoseados de piratas en payasos.

Al observar a las abejas y los bombílidos del mandala, descubro una pauta. Los bombílidos adultos no muestran ningún criterio al escoger las flores y paran en todas para sorber néctar o comer polen. Las abejas son más exigentes, ya que prefieren la *Claytonia virginica* y descartan las flores sin néctar de *Thalictrum thalictroides* y hepática. Estas preferencias son el dobladillo de una capa enorme y compleja de relaciones. Cientos de especies de insectos y de flores interactúan en este bosque cada primavera, y cada uno intenta asegurarse el futuro de sus crías a través del soborno azucarado o del transporte subvencionado de polen. Algunos, como los bombílidos, abundan pero solo consiguen a medias transportar polen. Otros, como las exigentes abejas, son más raros pero más eficaces como polinizadores.

Esta intrincada red de dependencia se remonta a cuando se desarrollaron las primeras flores, hace ciento veinticinco millones de años. El fósil de flor más antiguo, que se conoce como *Archaefructus*, no tenía pétalos, pero sus anteras portadoras de polen tenían banderas en las puntas. Los botánicos que describieron el fósil creen que esas extensiones quizá sirvieron para atraer a los polinizadores. A otras flores antiguas también parece que las polinizaban insectos, lo que de nuevo respalda la idea de que insectos y flores han sido socios desde que se desarrollaron las primeras flores. Desconocemos cómo se llegó a este matrimonio, pero parece probable que las plantas de floración evolucionaran a partir de otras similares a los helechos y que produjeron esporas que atrajeron a los insectos en busca de alimento fácil. Los ancestros de las flores convirtieron la plaga de insectos depredadores en una bendición al producir despliegues llamativos para atraer a estos devoradores de esporas y después producir tantas esporas que los

cuerpos de los insectos quedaban tiznados. Sin darse cuenta, los depredadores se llevaban consigo un poco de ese polvo de esporas a la siguiente flor, lo que aumentaba la fecundidad del productor. Con el tiempo se envolvieron las esporas en un paquete, el grano de polen, y nació la verdadera flor. Las abejas y la *Claytonia virginica* del mandala recrean el tema principal de la relación originaria. Las abejas o sus larvas se comen la mayor parte del polen que recogen y trasladan solo un pequeño número de granos de polen de flor en flor.

El meollo de la relación entre flores e insectos no ha cambiado, aunque los detalles se han desarrollado muchísimo. Al insecto que sobrevuela el mandala se lo bombardea con perfumes, vallas publicitarias y señuelos, todos destinados a llevarlo al mostrador de la tienda. Los bombílidos responden a todas esas llamadas y meten la cabeza en cada flor, mientras que la mayor parte de las abejas son más selectivas. A veces este criterio selectivo genera especializaciones como una flor pensada para un insecto o un cerebro de insecto sintonizado con una flor. Las orquídeas lo llevan a extremos exquisitos e imitan el aroma y el aspecto de una abeja hembra, lo que induce al macho a aparearse y convierte su fervor en un servicio postal para orquídeas.

El mandala cuenta con un pequeño número de flores especializadas. Las flores tubulares de *Cardamine diphylla* son una barrera para las abejas pequeñas, y solo las abejas y moscas provistas de lenguas largas pueden acceder al estrecho tubo de néctar. Algunas especies de abeja se alimentan exclusivamente de flores de *Claytonia virginica*, y su fidelidad se debe a una cuestión de eficiencia. Pero estos ejemplos de especialización son excepciones llamativas dentro de la promiscuidad de plantas y polinizadores que reina en el mandala. La brevedad de la primavera favorece ese predominio poco corriente de generalistas. Las efímeras están encajonadas entre el frío de principios de primavera, que no permite que los polinizadores vuelen, y la formación del dosel arbóreo, que hurta la luz que las efímeras primaverales necesitan para crecer y producir semillas. No es momento para ponerse quisquilloso. Las

plantas necesitan toda la ayuda que los insectos les puedan proporcionar, da igual que el insecto sea una abeja fiel o una mosca caprichosa. Todas las plantas del mandala excepto la *Cardamine diphylla* producen flores en forma de copa accesibles para cualquier insecto. La explosión de flores está abierta de par en par y da la bienvenida a su espectáculo resplandeciente a todos los polinizadores del bosque.

2 DE ABRIL

LA MOTOSIERRA

Estoy sentado en el mandala cuando de golpe se oye un aullido mecánico que se abre camino por entre el bosque y me crispa los nervios. Una motosierra corta madera en algún lugar hacia el este. Este pedazo de bosque primario está protegido, supuestamente libre de motosierras, así que abandono el mandala para investigar el asunto. Después de atravesar con dificultad un pedregal y trepar por la orilla de un arroyo, descubro el origen del ruido: un equipo de mantenimiento de un campo de golf tala un árbol muerto en el borde de uno de los acantilados que dominan el bosque. El campo de golf llega hasta el borde del acantilado, y los árboles muertos evidentemente no encajan con la estética de ese deporte. El personal de mantenimiento despeña el árbol caído por el precipicio y pasa a ocuparse de otras cosas.

Asistir al uso de un precipicio como vertedero es irritante, aunque el árbol arrojado vaya a proporcionar un poco más de hábitat para las salamandras. Me alivia que la tala no fuera más abajo del acantilado, en el mismo bosque primario. La intensa explosión de flores del mandala es especial y casi única porque la motosierra nunca ha despojado la ladera de su manto. Salamandras, hongos y abejas solitarias también se deleitan en la maraña de grandes troncos caídos y espesores de hojarasca. La tala de árboles, especialmente cuando se dejan claros, mata a muchos de estos habitantes del bosque, y hay que esperar décadas, a veces incluso cientos de años, para que las poblaciones se recuperen.

Despojar de árboles la ladera de la montaña transforma la tierra del bosque de pudin esponjoso a ladrillo cocido. Las abejas que

anidan en el suelo, las salamandras de espalda húmeda y los tallos rastreros de las efímeras se secan y mueren en la tierra agostada. Los animales no empiezan a volver hasta que el bosque recupera la hojarasca, el dosel arbóreo y la madera muerta, pero es un renacer lento, condicionado por la falta de viejos troncos muertos que actúen como criaderos y por la escasa capacidad de dispersión de las flores y las salamandras.

¿Y qué? ¿Por qué deberíamos contener nuestro deseo de usar cada vez más madera y papel para conservar una explosión primaveral de biodiversidad forestal? ¿No pueden cuidarse las flores a sí mismas? Al fin y al cabo, los roces son naturales. El viejo lugar común del "equilibrio de la naturaleza" hace décadas que pasó de moda. Hoy en día el bosque es un "sistema dinámico", continuamente atacado por el viento, el fuego y los seres humanos, siempre en movimiento. De hecho, podemos darle la vuelta a la cuestión y preguntarnos si no necesitamos hacer alguna tala, en lugar de aquellos fuegos que antes despejaban grandes extensiones de bosque, pero fueron eliminados por los administradores de tierras hace ya casi cien años.

Estas preguntas están en la raíz de una espinosa polémica que crece invadiendo los congresos académicos, los informes gubernamentales y los editoriales de los periódicos. ¿Necesita el bosque el zumbido de las motosierras, o lo que necesita es tiempo para renovarse sin que los leñadores lo molesten? Utilizar a la naturaleza como modelo resulta tentador, pero la naturaleza permite justificaciones para todos los gustos. ¿Qué tipo de ciclo vital del bosque es el suyo: la fuerza aniquiladora de una glaciación, una antigua ladera de montaña intacta, o los daños bailarines que produce un tornado de verano?

La naturaleza, como de costumbre, no nos da una respuesta.

Más bien se nos plantea una cuestión moral: ¿qué parte de la naturaleza queremos imitar? ¿Aspiramos al peso inflexible y al control total de un manto de hielo, que imponga a la tierra nuestra belleza glacial y se retire cada cien mil años para permitir la lenta regeneración del bosque? ¿O intentamos vivir como el fuego y el

viento, y causamos estragos con nuestras máquinas y después seguimos nuestro camino, golpeando en lugares y a intervalos aleatorios? ¿Cuánta madera necesitamos? ¿Cuánta queremos? Es una cuestión de tiempo y de magnitud. Podemos cortar cada dos décadas o cada dos siglos; podemos concentrar nuestros deseos de extracción o podemos dejar que campeen por todo el mundo; podemos talar todo el bosque o solo unos pocos árboles.

La respuesta colectiva que damos a esta pregunta surge de los valores de millones de terratenientes, guiados por las torpes manos de la sociedad: la economía y la política del gobierno. Las lindes de los topógrafos dejan el bosque hecho añicos como un parabrisas roto, de modo que la diversidad de estos valores se pone en práctica en un mosaico a lo largo y ancho del continente. A pesar de este caos, podemos detectar patrones en el conjunto. No somos ni una glaciación ni un vendaval, sino algo completamente nuevo. Hemos cambiado el bosque con la magnitud de una glaciación, pero a un ritmo mil veces más rápido.

En el siglo XIX se arrancaron más árboles de los que la Edad de Hielo consiguió arrancar en cien mil años. Talamos el bosque con hachas y sierras de mano, y lo transportamos con mulas y vagones. Después de esa trasquilada, el bosque volvió a crecer, pero venido a menos, despojado de parte de su diversidad por la magnitud de la agresión. Se trató de un vendaval a escala de glaciación, pero parecido a un tornado en su crudeza física.

Actualmente, el petróleo barato y la tecnología cara nos han llevado a la segunda fase de nuestra relación con el bosque. Ya no cortamos a mano ni transportamos con animales o vapor; todo lo hacen los motores de gasolina, lo que acelera la extracción y aumenta la capacidad de control. La energía del petróleo y nuestra sagacidad nos dieron otra herramienta: los herbicidas. Antes la fuerza regeneradora del bosque ponía límites a nuestra capacidad de dirigir el futuro de la tierra. El bosque se recuperaba, preparado para el hacha gracias a millones de años de viento y fuego. Hoy la "supresión química" es la herramienta preferida para neutralizar árboles cuyos genes les mandan volver a brotar. Las máquinas dejan

el bosque despejado, ya que después de la tala se limpian los "escombros" con buldóceres. Entonces llegan los helicópteros y echan herbicidas sobre los restos, impidiendo así que vuelva a asomar el verde. Me he plantado en medio de estos claros y no he visto nada verde hasta el horizonte en casi ninguna dirección: una experiencia llamativa en el verano normalmente exuberante de Tennessee.

Todos estos esfuerzos se dirigen a preparar la tierra para acoger un bosque nuevo, un monocultivo de árboles de crecimiento rápido. Según el tipo de árbol y de tierra, las hileras de árboles se rocían con fertilizantes para suplir algunos nutrientes que se eliminaron del bosque viejo, pasado de moda. Si se entrecierran los ojos, las plantaciones de árboles resultantes se parecen algo a los bosques. Sin embargo, la diversidad de aves, flores silvestres y árboles ha desaparecido. Los jardines traseros de las casas de las afueras pueden preciarse de más diversidad biológica que estas sombras de verdadero bosque.

¿Recuperarán algún día las plantaciones la condición de bosques? La Edad de Hielo nos enseña que se le puede dar la vuelta a una aniquilación de este tipo, pero a un ritmo que se mide en milenios, no en décadas. Sin embargo, la pregunta es prematura. El hielo no se está retirando. Todos los tipos principales de bosque nativo del sudeste de Estados Unidos se hallan en declive. Solo crecen las plantaciones.

La escala, la novedad y la intensidad de este cambio son amenazas incuestionables a la diversidad de la vida en los bosques. Si tenemos que responder a esta erosión o de qué manera deberíamos hacerlo es una cuestión moral. Aparentemente la naturaleza no nos brinda ninguna guía en este sentido; la extinción en masa es una más de sus muchas posibilidades. Tampoco puede responderse a las cuestiones morales con la obsesión de nuestra cultura por los grupos de reflexión política, los informes científicos y las contiendas legales. Creo que las respuestas, o una primera aproximación a ellas, se encuentran en nosotros. Solo mediante el examen de la estructura que nos sostiene y que nos sustenta

podemos ver cuál es nuestro sitio y, por lo tanto, nuestras responsabilidades. Vivir de cerca el bosque nos da la humildad necesaria para situar nuestra vida y deseos en ese contexto más amplio que inspira todas las grandes tradiciones morales.

¿Pueden responder a mis preguntas las flores y las abejas? No directamente, pero me vienen a la cabeza dos intuiciones al contemplar un bosque variopinto cuya existencia trasciende la mía. En primer lugar, deshilachar el tejido de la vida es desdeñar un regalo. Peor aún, es destrozar un regalo que incluso la testaruda ciencia nos dice que es enormemente valioso. Desechamos el regalo a cambio de un mundo creado por nosotros mismos que sabemos que es incoherente e insostenible. En segundo lugar, intentar convertir un bosque en un proceso industrial es arriesgado, y mucho. Incluso los apologistas de la glaciación química admiten que estamos agotando el capital de la naturaleza al explotar la tierra y desechar después el terreno gastado. Esta imprudente ingratitud, que se justifica por la "necesidad" económica creada por nuestro consumo cada vez mayor de madera barata, parece una señal externa de arrogancia y confusión internas.

La madera y los productos madereros como el papel no son el problema. La madera nos proporciona un techo y papel con que alimentar la mente y el espíritu, indiscutiblemente aportaciones positivas. Los productos madereros pueden ser mucho más sostenibles que otras alternativas como el acero, los ordenadores y el plástico, que consumen grandes cantidades de energía y productos naturales no renovables. El problema de la economía forestal moderna radica en la forma desequilibrada con que obtenemos madera de la tierra. Nuestras leyes y reglas económicas sitúan el beneficio a corto plazo de la extracción por encima del resto de valores. No tiene por qué ser así. Podemos volver a encontrar la senda de la gestión cuidadosa centrada en el bienestar a largo plazo tanto de los seres humanos como de los bosques. Sin embargo, encontrar ese camino exigirá tranquilidad y humildad. Los oasis de contemplación nos pueden sacar del desorden y pueden devolver a nuestra visión moral una apariencia de claridad.

2 DE ABRIL

FLORES

Un número infinito de flores se asoma reluciente al mandala. Intentar contarlas aboca a la confusión: doscientas ochenta, trescientas veinte, demasiado abarrotamiento en un metro cuadrado. Los ayudas de cámara de las flores están presentes, zumbando con su elegante vestido peludo y preocupándose de la realeza floral. Me uno a su ritual y hago una genuflexión, y después me tumbo boca abajo con la lupa pegada al ojo.

Las anteras arqueadas de la flor abierta de *Stellaria media* parecen una fuente. Una cúpula central, el ovario, está rodeada por filamentos cremosos y gráciles que sostienen unos nudos pardos de granos de polen. Estos filamentos se elevan por encima de la cúpula y mantienen el polen alejado de los estigmas, las pistas de aterrizaje de polen de la propia flor. La *Stellaria media* tiene tres de ellos situados en la cima de la cúpula en forma de cebolla del ovario, y los tres esperan que una abeja espolvoreada de polen los roce al pasar.

La superficie del estigma es un bosque de dedos microscópicos que se extienden para abrazar granos de polen. Si los pétalos cumplen su función y atraen a una abeja, la pegajosidad del estigma atrapa los granos rugosos. Una vez capturado el polen, el estigma lo analiza y rechaza el de especies distintas. La planta también evita su propio polen y el de parientes cercanos, impidiendo así la autofecundación y la endogamia. En unas pocas especies esta regla contra la autofecundación se incumple si no se dispone de otro polen en condiciones. Las hepáticas y otras que florecen a principios de primavera utilizan autofecundaciones de este tipo como estrategia de último recurso. Para ellas, el amor a sí mismas es

mejor que quedarse sin amor cuando las inclemencias del tiempo retiran del servicio a los insectos que las polinizan.

Si el emparejamiento bioquímico va bien, las células del estigma liberan agua y nutrientes para derretir la dura armadura del polen. La cáscara del grano de polen se resquebraja, reventada por el par de células hinchadas del interior. Como si fuera una ameba, la célula más grande de las dos se desarrolla a partir de la capa reventada de polen, empieza a meterse entre las células que envuelven el estigma y forma un tubo. Cada estigma se encuentra en la punta de un pedúnculo llamado estilo, y el tubo de polen se abre paso a través del estilo, ya sea empujando entre las células o, si el estilo está vacío, cayendo por su pared interna como una gota de aceite. La segunda célula de polen, más pequeña, se divide y forma dos espermatozoides. Estos flotan por el tubo de polen, llevados por la corriente como si practicaran *rafting*. A diferencia de los espermatozoides de los animales, musgos y helechos, estos balseros carecen de remos y su movimiento es completamente pasivo.

La longitud del estilo se explica por la necesidad de levantar suficientemente los estigmas como para que las abejas se topen con ellos. Esto supone una odisea llena de desafíos para el tubo de polen y, por lo tanto, un buen campo de pruebas para que la planta evalúe a sus pretendientes. Las abejas dejan muchos granos de polen en cada estigma, de modo que en el estilo puede haber varios tubos formándose al mismo tiempo. Si es el caso, el estilo se convierte en el derbi de Kentucky del amor vegetal. Los espermatozoides cabalgan con sus tubos hacia el óvulo, que contiene el huevo de la planta; el precio del fracaso es la aniquilación de los genes del jinete. Hay indicios de que las plantas robustas producen tubos de polen rápidos, de forma que la longitud del estilo permite que la flor escoja parejas avaladas por el éxito. Quizá los estilos son un poco más largos de lo estrictamente necesario para interceptar abejas solo para que los sementales del polen tengan que afrontar una dura carrera.

Cuando el tubo de polen alcanza la base del estilo, se mete en el óvulo carnoso. Aquí el tubo de polen libera sus dos espermatozoides.

Uno de ellos se une al huevo para formar un embrión, mientras que el otro se une al ADN de dos células vegetales minúsculas para formar una célula más grande con un triple complemento de ADN. Esta célula triplemente dotada se divide, se engorda y se convierte en una zona de almacenamiento de comida para la semilla en desarrollo, un almacén al que los seres humanos han dado una utilidad como harina de trigo y de maíz. Este tipo de doble fecundación se da únicamente en las plantas de floración, ya que la unión sexual en el resto de criaturas solo necesita de un espermatozoide y un óvulo.

La *Stellaria media* que tengo delante de la lupa es hermafrodita y en cada flor produce tanto polen como óvulos, la parte masculina y la femenina. Cada flor dispone de todo el aparato reproductor necesario: granos de polen; anteras para fabricar y almacenar granos; filamentos para aguantar las anteras, estigmas, estilos, y un ovario donde guardar los óvulos. Todos estos elementos se apiñan dentro del cáliz de la flor, rodeado de pétalos de colores pensados para atraer a los animales. Una complejidad minúscula y ordenadamente dispuesta como esta contribuye a un despliegue irresistible.

Todas las flores efímeras primaverales del mandala son hermafroditas, una estrategia que encaja bien con estas plantas diminutas que solo producen unas pocas flores a lo largo de una temporada corta e impredecible. Al combinar lo masculino y lo femenino en una sola flor, las plantas dejan la puerta abierta a la autofecundación. También diversifican la inversión entre las funciones masculinas y femeninas, lo que aumenta las posibilidades de que como mínimo algunos de sus genes pasen a la próxima generación. Otras especies, como muchos árboles polinizados por el viento –robles, nogales u olmos– utilizan una estrategia distinta y producen un gran número de flores unisexuales. En este caso, cada flor tiene una tarea especializada, bien soltar polen o bien recogerlo del viento.

Aunque las plantas del mandala comparten ese diseño hermafrodita, su geometría difiere notablemente de especie a

especie. Las anteras de la hepática crecen en una espesa mata alrededor de un grupo de estilos parecidos a pilares. Las flores marfil pálido de *Caulophyllum thalictroides* tienen anteras globulares que cercan un ovario bulboso de estigmas diminutos. Los pétalos de *Cardamine diphylla* encierran una vaina alrededor de las anteras escondidas. Solo la *Claytonia virginica* presenta una flor algo similar a la *Stellaria media*. Sus tres estigmas están encaramados a un tridente mustio, rodeados de cinco anteras de puntas rosadas.

Esta variedad es un reflejo de los gustos de los polinizadores de las plantas, pero también está determinada por factores menos obvios. Los ladrones de néctar, por ejemplo, ejercen una influencia sigilosa pero considerable en el diseño floral. Ante mis ojos, una hormiga ha metido la cabeza en una flor de *Claytonia virginica*. Con la lupa observo cómo ignora el polen y el estigma, y después se pone del revés y roba el néctar azucarado de la flor. Robos de este tipo son el coste que las flores de cáliz abierto deben asumir por dar la bienvenida a un grupo variado de polinizadores: los gorrones también se apuntan y se aprovechan de la abertura. Las flores de *Claytonia virginica* escogen la estrategia más acogedora, y por tanto la más vulnerable, al ofrecer néctar a manos llenas en el interior de un cáliz abierto accesible a cualquier insecto. La hepática y la *Thalictrum thalictroides* también presentan cálices abiertos, pero ninguna ofrece néctar; de ahí que pierdan poca energía por culpa de los ladrones, aunque también sean menos atractivas para las abejas. La *Cardamine diphylla* ofrece néctar encerrado en un tubo, lo que excluye a las hormigas ladronas pero restringe el número de abejas capaces de adentrarse en sus recovecos.

La diversidad del diseño floral también se ve afectada por la longevidad de las plantas y sus flores. Las que solo duran unos días, como las de *Claytonia virginica*, están desesperadas por conseguir polinizadores. Esto favorece una actitud bohemia, que lo arriesga todo por el beso de una abeja. Si el abrazo de la abeja viene acompañado de algunos tarambanas, qué se le va a hacer. Las flores de vida larga pueden ser más comedidas y retienen el néctar o se mantienen cerradas porque saben que tarde o temprano llegará un

buen pretendiente. La longevidad de la planta que produce la flor también cuenta en la economía de la floración. Todas las efímeras primaverales son perennes que brotan de raíces o tallos bajo tierra. Si un tallo rastrero vive tres décadas, puede permitirse ser comedido en la búsqueda de polinizadores. En cambio, es posible que una raíz de vida corta esté más dispuesta a tolerar a algunos gorrones. Ambos factores, la duración de la flor y la longevidad de la planta, son variantes del mismo tema: las vidas breves tienen que brillar más.

Por lo tanto, las flores hacen gimnasia económica equilibrando las pérdidas sufridas a manos de los ladrones con la necesidad de atraer polinizadores. Cómo se desarrollan estos ejercicios gimnásticos no solo depende de los insectos que vuelan por el mandala, sino también de la ascendencia de las plantas. La selección natural hace pequeños ajustes en la materia prima proporcionada por las generaciones precedentes, de modo que el diseño de cada flor está conformado por las particularidades de su genealogía. Las distintas familias de plantas cuentan con equipos distintos, y eso limita sus acrobacias.

La hepática y la *Thalictrum thalictroides* pertenecen a la misma familia, los ranúnculos, que producen flores sin néctar con cálices abiertos. La *Stellaria pubera* pertenece a la familia *Caryophyllaceae*. El nombre en inglés de esta familia, *pink*, viene del nombre común de *Dianthus*, una flor de jardín de olor agradable. La flor dio nombre al color, y los bordes irregulares de sus pétalos también dieron nombre a las tijeras que los modistas emplean para cortar bordes en zigzag, llamadas en inglés *pinking shears*. La familia de plantas se llama así por las tijeras, no por el color; la *Stellaria pubera* hereda la tendencia a presentar pétalos dentados. A primera vista, sus diez pétalos blancos y finos parece que se hayan apartado de la tradición familiar. Una observación más atenta nos descubre que la flor solo tiene cinco pétalos, todos partidos tan profundamente que parecen dobles. La Stellaria lleva por tanto al límite la preferencia de su familia por el aspecto ornamentado y crea la ilusión de que hay más pétalos.

Como todos los seres vivos, incluidos nosotros mismos, las flores ponen una capa de adaptación por encima de la historia, y dan lugar así a la tensión entre diversidad y unidad, entre individualidad y tradición, que vuelve tan irresistible el derroche desmesurado del mandala.

8 DE ABRIL

EL XILEMA

Últimamente el tiempo ha sido inestable, hemos tenido aguanieve un día y al siguiente un sol esplendoroso. El ritmo de la vida en el mandala sigue esas variaciones. En los días fríos, las hojas se ponen mustias y el bosque está silencioso a excepción del golpeteo del pájaro carpintero. Hoy no se ve el sol por ninguna parte y la vida se ha acelerado, con la vegetación renacida, una docena de pájaros cantores, varios enjambres pequeños de insectos voladores y una temprana rana arborícola que croa desde una rama baja.

Hace una semana, el verde del bosque se extendía por todo el suelo, una alfombra de fotosíntesis que llegaba a la altura del tobillo. Hoy los arces están desplegando las hojas y hacen oscilar las flores verdes en las ramas. Como una subida de marea, el brillo verde recupera el bosque del suelo para arriba. La oleada ascendente inunda la ladera de la montaña de un aire de renovación.

Las ramas de arce azucarero se extienden por encima del mandala, y las hojas nuevas tapan los rayos de sol y dan sombra al sotobosque. De los cientos de flores silvestres primaverales solo queda una docena; el arce apagó su chispa. Sin embargo, no todos los árboles cercanos al mandala tienen hojas. La exuberancia del arce contrasta con el *Carya glabra* adusto y exánime que se yergue del otro lado del mandala. El tronco gris y macizo del nogal se levanta directamente hasta el dosel donde extiende las ramas desnudas y oscuras.

El contraste entre el arce y el nogal americano expresa una lucha interior. Los árboles en crecimiento tienen que abrir los estomas de

las hojas, lo que permite que el aire limpie las superficies húmedas de sus células. El dióxido de carbono se disuelve en la humedad antes de que se convierta en azúcar dentro de las células de las plantas. Esta transformación de gas en alimento es la fuente de vida del árbol, pero tiene un precio. De los estomas emana vapor de agua. Cada minuto el arce de encima del mandala manda algunos litros de agua al aire. En un día caluroso, los siete u ocho árboles cuyas raíces penetran en el mandala despiden a través de sus hojas varios cientos de litros de agua en forma de vapor. Esta cascada al revés seca rápidamente la tierra. Cuando se agota el agua, la planta tiene que cerrar los estomas y deja de crecer.

Todas las plantas se enfrentan a este equilibrio entre crecimiento y utilización de agua. Sin embargo, a los árboles se les añade otra dificultad diabólica. Esa forma de tender sus hojas hacia el cielo los convierte en esclavos de la física de sus sistemas de cañerías. En cada tronco se encuentra la conexión vital entre tierra y cielo, entre agua de la tierra y fuego del sol. Las reglas que gobiernan esta conexión son estrictas.

En el interior de las hojas del árbol, la luz del sol provoca que el agua se evapore de la superficie de las células y salga por los estomas. A medida que el vapor se desprende de las paredes celulares húmedas, la tensión superficial del agua restante aumenta, especialmente en las estrechas separaciones entre células. Esta tensión extrae más agua del interior de la hoja. El tirón se desplaza a las venas de las hojas, después baja por las células conductoras de agua del tronco del árbol y finalmente llega hasta las raíces. El tirón de cada molécula de agua que se evapora es minúsculo, como un soplo de viento que moviera un hilo de seda. Sin embargo, la fuerza combinada de millones de moléculas evaporándose es suficiente como para levantar del suelo una gruesa cuerda de agua.

El sistema con el que los árboles desplazan el agua resulta extraordinariamente eficaz. No gastan energía, sino que dejan que la fuerza del sol tire del agua a través del tronco. Si los humanos tuvieran que diseñar máquinas para subir cientos de litros de agua de las raíces hasta las cepas, el bosque se convertiría en una

cacofonía de bombas, ahogado en gases de motor diésel o atravesado por cables eléctricos. La economía de la evolución es demasiado austera y ahorradora para permitir un despilfarro de ese tipo, de modo que el agua se desplaza por los árboles en silencio y con fluidez.

Sin embargo, ese sistema para subir agua tan eficaz tiene su talón de Aquiles. Algunas veces las columnas ascendentes de agua se rompen por culpa de burbujas de aire. Estas embolias impiden el flujo del agua. En invierno tales bloqueos ocurren con mayor frecuencia, dado que las burbujas de aire se forman cuando el agua se congela dentro de las células conductoras de agua. Se trata de las mismas burbujas que enturbian los hielos en el congelador de la cocina. Por lo tanto, el frío glacial salpica el tronco de burbujas de aire que echan a perder las cañerías de los árboles. El arce y el nogal han dado con dos soluciones distintas al problema.

Con sus ramas desnudas, el nogal tiene un aspecto invernal y pasivo, pero se trata de una ilusión. En su interior, el árbol está montando un sistema de cañerías completamente nuevo, preparándose así para las flores y hojas que le saldrán dentro de un par de semanas. El sistema de cañerías del año pasado está bloqueado por las embolias y ya no vale para nada. De modo que los nogales dedican la primera mitad de abril a construir tubos nuevos. Justo debajo de la corteza, una capa fina de células vivas envuelve el tronco. Estas células se dividen y fabrican los nuevos vasos de la temporada. La capa exterior de células, la que se encuentra entre la corteza y esas células que se dividen, se convertirá en floema, un tejido vivo que transporta azúcares y otras moléculas de alimento arriba y abajo del árbol. Las células nuevas que se forman en la cara interior mueren y abandonan las paredes celulares para convertirse en el xilema, o sea madera, que conduce el agua tronco arriba.

Los tubos del xilema del nogal son largos y anchos. Estos conductos ofrecen poca resistencia, así que el flujo de agua es prodigioso cuando al árbol le salen hojas. Sin embargo, la anchura de estos tubos los hace especialmente vulnerables a los bloqueos por embolias. Una vez bloqueados no valen para nada y, como el

árbol cuenta con relativamente pocos conductos anchos, el flujo de agua disminuye significativamente solo con unas pocas embolias. Eso significa que los nogales tienen que aplazar el crecimiento de las hojas hasta que deje de haber peligro de helada. Los árboles se pierden, pues, los días soleados y cálidos de primavera, pero se resarcen de esas pérdidas cuando sus conductos se abren más avanzada la estación. El nogal es por tanto como un coche deportivo: el hielo le impide pisar la carretera hasta finales de primavera, pero en los días calurosos de verano aventaja a todos los rivales.

El tronco de nogal tiene otro problema: los tubos del xilema, largos y anchos, son endebles, como una pajita de paredes finas. Esos tubos no pueden sostener ramas pesadas ni aguantar la fuerza del viento cuando tira de las hojas. Por lo tanto, más adelante, cuando el xilema primaveral se ha formado, el árbol desarrolla unos vasos más estrechos y de paredes gruesas. Ese xilema formado en verano proporciona el respaldo estructural del que carecen los vasos portadores de agua. La alternancia anual puede observarse en la madera de nogal cortada, que sigue un patrón "poroso anular" de anchas células porosas separadas por madera más densa.

Si los nogales son coches deportivos, entonces los arces son turismos con tracción en las cuatro ruedas. Su xilema aguanta las heladas y permite que les salgan hojas varias semanas antes que a los nogales. Sin embargo, cuando llega el verano los arces van por detrás de los nogales en su capacidad de transportar agua y de ese modo nutrirse de la luz solar. Las células del xilema de los arces son más numerosas, más cortas y más estrechas que las de los nogales, y están separadas por unas láminas parecidas a peines. A diferencia de los tubos anchos y abiertos del nogal, el diseño del arce confina las embolias a las pequeñas células en las que se forman. Al tener los arces tantos tubos pequeños, cada embolia bloquea solo una fracción minúscula del tronco. A diferencia de los patrones anulares de la madera de nogal, la madera de arce es más uniforme y presenta un patrón "poroso difuso". Estas diferencias pueden observarse en los muebles y otros productos madereros: el arce es

homogéneo, mientras que el nogal tiene hileras regulares de agujeritos.

Los arces cuentan con otro recurso fisiológico que les ayuda a aguantar las embolias. A principios de primavera, la savia azucarada sube con fuerza por el tronco, desaloja el aire y restablece la integridad del antiguo xilema tras las fuertes heladas de invierno. Los arces pueden utilizar por tanto el antiguo xilema para aumentar su capacidad de transportar agua, mientras que los nogales están limitados al crecimiento del año en curso. El flujo de savia de los arces durante la primavera se ve alimentado por ciclos de heladas nocturnas y deshielos diurnos en las ramitas. Esto explica por qué la savia fluye con fuerza algunos años y apenas lo hace en otros. Cuando la temperatura oscila entre heladas nocturnas y días calurosos, la savia fluye maravillosamente; cuando el tiempo es uniformemente templado, el flujo se estanca.

El contraste entre el arce frondoso y el nogal sombrío se reduce a una cuestión de cañerías. En un principio los árboles parecen prisioneros de las leyes implacables de la física. Las limitaciones impuestas por la evaporación, el flujo y la congelación del agua marcan su vida. Sin embargo, los árboles también son maestros en aprovecharse de esas mismas reglas. La evaporación es el precio que los árboles pagan por abrir las hojas, pero es también la fuerza que desplaza cientos de litros de agua tronco arriba silenciosamente y sin esfuerzo. Del mismo modo, el hielo es el enemigo del xilema primaveral, pero el hielo alimenta el flujo temprano de savia del arce, de nuevo sin que al árbol le cueste nada. De dos formas distintas, tanto el arce como el nogal han dado la vuelta a sus limitaciones y han convertido la adversidad en un triunfo.

14 DE ABRIL

LA MARIPOSA NOCTURNA

Una mariposa nocturna arrastra las patitas pardas por mi piel y me prueba con miles de detectores químicos. ¡Seis lenguas! Cada paso es una explosión de sensaciones. Caminar por una mano o una hoja debe de ser como nadar en una piscina de vino con la boca abierta. Mi cosecha merece la aprobación de la mariposa nocturna, de modo que su probóscide se despliega y desciende de entre sus ojos de un verde vivo. La probóscide desenrollada baja directamente desde su cabeza, como una flecha que apuntara a mi piel. En el punto de contacto, la rigidez de la probóscide se suaviza, y la punta se inclina hacia atrás apuntando entre las patas de la mariposa. Noto una fresca humedad mientras la mariposa va dando golpes con la punta como si buscara algo. Me inclino hacia mi dedo con una lupa ante los ojos y los entrecierro a tiempo para ver cómo la punta se cuela dentro de una ranura entre dos protuberancias de la huella dactilar. La probóscide se queda en ese surco y por el tubo pálido corre líquido arriba y abajo. La sensación de humedad continúa.

Durante media hora observo cómo se alimenta la mariposa nocturna y descubro que no puedo desalojar a mi huésped. Primero dejo el dedo quieto y solo muevo cautelosamente la cabeza. Al cabo de unos minutos el cuerpo protesta ante tanta rigidez, así que muevo el dedo. No hay reacción alguna. Agito el dedo y le soplo a la mariposa. De nuevo, sigue con sus tareas. Los toques con la punta del lápiz no consiguen mover al animal. También recibo la visita de una mosca grande que me besuquea la mano con su boca húmeda parecida a un desatascador. Esa mosca rasposa da muestra de reacciones más normales para un insecto y echa a volar cuando me

acerco a ella. La mariposa, sin embargo, se pega como una garrapata.

Las antenas de la mariposa dan a entender la razón del fuerte apego a mi dedo. Las antenas forman un arco que se extiende desde la cabeza de la mariposa y alcanza una longitud casi equivalente al cuerpo. De la antena sobresalen nervios densamente dispuestos. La mariposa está coronada, pues, con dos plumas raídas cubiertas de pelos aterciopelados. Todos los pelos están salpicados de agujeros que llevan a un núcleo acuoso en el que hay una terminación nerviosa esperando a la molécula correcta para unirse a su superficie y provocar una reacción. Solo los machos tienen esas antenas tan exageradas. Rastrean el aire en busca del perfume que liberan las hembras y vuelan contra el viento, guiados hasta una pareja por sus enormes narices plumosas. Sin embargo, encontrar una hembra no es suficiente. El macho tiene que proporcionar una ofrenda nupcial a su pareja. Mi dedo le proporciona un ingrediente esencial para ese regalo.

Puede que los diamantes sean el cristal preferido para el cortejo humano, pero las mariposas buscan un mineral distinto y mucho más práctico: la sal. Cuando la mariposa se aparee, le entregará a su pareja un paquete con una bola de esperma y un paquetito de comida generosamente aliñada con sodio, un regalo valioso que atiende las necesidades de la generación siguiente. La mariposa hembra pasa la sal a los huevos y por ahí a las orugas. El follaje es bajo en sodio, de modo que las orugas filófagas necesitan la herencia salada de sus padres. El ardiente apego de la mariposa a mi dedo lo prepara para aparearse y ayudará a que sus crías sobrevivan. La sal de mi sudor compensará las carencias dietéticas de las orugas.

Hace una mañana soleada y agradablemente cálida. Todavía está por llegar el calor del verano, o sea que apenas sudo. Eso hace que la tarea de la mariposa resulte más difícil y que la composición química que le ofrezco para su regalo sea más bien pobre. Un sudor abundante habría sido mucho mejor. El sudor humano se elabora a partir de sangre a la que se le quitan todas las moléculas grandes,

como una sopa pasada por un colador. El fluido sanguíneo sale de los vasos, se filtra por los espacios entre las células hasta llegar a los tubos enrollados en la base de los conductos sudoríparos. Cuando el fluido sube por esos conductos, el cuerpo bombea el sodio de vuelta a las células, recuperando así el valioso mineral. Como más rápido se desplaza el sudor, menos tiempo tiene el cuerpo para captar el sodio, de modo que cuando sudamos la gota gorda no hay mucha diferencia entre la proporción de minerales de nuestro sudor y la de nuestra sangre. Literalmente estamos sudando sangre, pero sin grumos. Cuando expulsamos el sudor lentamente, producimos un fluido menos rico en sodio y proporcionalmente más rico en potasio, un mineral que al cuerpo le cuesta poco trabajo reabsorber. Las hojas de las plantas contienen mucho potasio, de manera que a las mariposas macho no les interesa y evacuan el que absorben con el sodio. Parte de lo que la mariposa obtiene de mi piel pasará por tanto a sus heces y de ahí a la tierra.

A pesar de no proporcionarle a la mariposa más que unas gotas de sudor aguado, soy un mamífero al que vale la pena aferrarse. Los seres humanos son uno de los pocos animales que utilizan el sudor como mecanismo de enfriamiento, así que no es común encontrar piel salada en el mandala y una piel salada desnuda todavía es menos común. Sudan los osos y también los caballos, pero el premio se esconde bajo una capa de pelo. Los caballos nunca visitan el mandala. Los osos son muy raros, aunque los restos de las cuevas de la zona indican que abundaban antes de la llegada de la pólvora. La mayoría de los mamíferos solo sudan por las almohadillas de los pies o por los márgenes de los labios. Los roedores no sudan en absoluto, quizá porque sus pequeños cuerpos los hacen especialmente vulnerables a la deshidratación.

Que de los poros salga fluido sanguíneo es por tanto un festín poco habitual en el mandala. El exiguo sudor de mi piel es un banquete comparado con la escasez de sodio del bosque. A veces vale la pena sorber de los charcos de agua, pero rara vez son ricos en sodio. Las heces y la orina son más saladas, aunque se secan rápido. Hoy soy la mejor alternativa. Como no quiero llevarme a la

mariposa nocturna fuera del bosque cuando termine de observar el mandala, me veo obligado a arrancar de mi piel las patas bien agarradas y echar a correr.

16 DE ABRIL

AVES AL AMANECER

Una mancha de color melocotón se extiende por la oscuridad en el este del horizonte, después toda la bóveda celeste se ilumina y pasa de la oscuridad a la luminosidad pálida. Dos notas repetidas resuenan en el ambiente; la primera es clara y aguda, la segunda es más grave y enfática. Esos herrerillos bicolores siguen con su ritmo binario cuando un carbonero de Carolina se arranca con una melodía silbada, cuatro notas que caen y se levantan como si dieran cabezadas. El color melocotón se extiende hacia el cielo desde el horizonte y un mosquero fibí gorjea con una voz endurecida por el whisky y los cigarrillos, y suelta ásperamente su nombre, *fi-bí*, como un *bluesman* desgarrado.

A medida que la palidez del cielo se va iluminando, un chipe vermívoro hace sonar una enérgica castañuela. El zumbido seco desata en todas partes un caos de cantos, una mezcolanza de tempos y timbres. El chipe trepador resuella perezosamente, *güi-ta güi-ta*, desde una percha del revés bajo una rama. El chipe encapuchado canta desde un árbol joven y tuerce las notas dos veces para coger velocidad y después las lanza al cielo, *güi-a güi-a GÜI-TI-O*. Del oeste llega un sonido todavía más fuerte. Tres notas sonoras bañan el bosque como lo haría la reiteración de las olas y después se rompen en remolinos que susurran. El solo de flauta del chipe de agua sureño parece inspirarse en el fluir de los arroyos en el curso de los cuales vive, aunque la cadencia y el volumen del canto elevan el sonido por encima del fragor del agua.

El color melocotón se vuelve rosa, y se esparce más ampliamente en el horizonte. La bóveda celeste se ilumina lo suficiente para

descubrir las flores en parte cerradas de *Stellaria media* del mandala y dar forma a las rocas y piedras que delimitan su borde. A medida que se empieza a ver el mundo, las ratonas carolinenses cantan rivalizando con los chipes de agua para ver quién produce el canto más ruidoso del bosque. Las ratonas cantan todo el año, pero hoy las escucho como si fuera la primera vez, despojadas de la familiaridad de su canto por el arrebato de sonido de la primavera. Ninguna otra ave, excepto el chochín que acaba de echar a volar, puede igualar el vigor de su ataque acústico o la exuberancia de la energía desatada de su canto.

A la música de la ratona responde un chipe cachetinegro desde más abajo. El chipe retoma el tema y el tono de la ratona, pero se contiene, como un saltador que bota interminablemente en un trampolín y que nunca se atreve a tirarse a la piscina. Entonces resuena otro canto en el dosel, ceceante como el de un chipe trepador, pero se desvía del patrón, acelera y después gorjea. No consigo identificar al ave y, peor aún, tampoco la encuentro con los binoculares. ¿Quizá se trate del madrugador "canto de vuelo" de un chipe? Los cantos de vuelo son sorprendentes solos de gran virtuosismo ofrecidos mientras se vuela en forma de arco por encima del bosque. Rara vez se han grabado y, según mi limitada experiencia, son muy variables. Desconocemos el papel que juegan en la vida de las aves, pero como mínimo deben proporcionar un torrente de liberación creadora para pájaros que durante el resto del día se dedican a repetir unas pocas sílabas.

Los pájaros carpinteros unen sus bulliciosas voces al espectáculo. Primero el *Melanerpes carolinus* lanza su chillido vibrante a través del mandala, y después se oye una respuesta, la risa maníaca del pito crestado. Los arrendajos azules salpican la retahíla de los carpinteros con chirridos y silbidos alternados. Mientras el brillo del cielo se va volviendo más intenso, media docena de jilgueros vuela hacia el este brincando en el aire justo por encima del dosel arbóreo, igual que roza el agua una piedra bien lanzada. Cada brinco va acompañado de un gorjeo, *ti-ti-ti, ti-ti-ti*.

Durante un momento, un destello rosa cubre todo el cielo, y después el amarillo se levanta desde el este e ilumina el mandala. El color se hunde de nuevo en el horizonte y deja una luz lechosa por el resto del cielo. Un vireo ojirrojo saluda el resplandor con sus retahílas de silbidos separadas por intervalos regulares. Algunas tiradas acaban con una nota ascendente, "¿dónde estoy?"; otras concluyen con una nota grave, "ahí estás…". El vireo pregunta al bosque y después responde y responde, y la clase sigue con el calor de mediodía, cuando otras aves ya han abandonado la cátedra. Como corresponde a su temperamento profesoral, es poco común que el vireo baje de las alturas del dosel y normalmente solo se le detecta por su canto repetitivo y vivaz. Al vireo se le añade un tordo cabecicafé. Los tordos son parásitos de cría, es decir que ponen huevos en los nidos de otras aves. Esa renuncia a las obligaciones paternales permite que los tordos se entreguen a los placeres del cortejo. Al macho le ha tomado dos o tres años perfeccionar su canto, que suena como si cayera oro líquido, se solidificara y vibrara al golpear una piedra. Un líquido precioso que se derrama combinado con la vibración del metal.

Ahora el cielo es azul y brilla, y hacia el este los colores del amanecer se han fundido en una franja de nubes pastel. Un cardenal rojo chilla *chip* en la ladera de abajo del mandala, y cada nota suena como si se golpeara un pedernal. Esos reclamos nítidos son el contrapunto al graznido de pavo que sube del valle. El bosque ha amortiguado sus sonidos distantes, añadiendo lo que Thoreau llamó la "voz de la ninfa de los bosques" conforme el sonido va rebotando y adelgazándose a través de la vegetación. Estamos en la temporada de caza de pavos, o sea que es tan probable que el graznido corresponda a imitadores humanos en busca de experiencias gastronómicas como a pavos reales en busca de amor.

Los colores desteñidos del amanecer renacen momentáneamente, y el cielo brilla con el lila y el amarillo narciso, añadiendo capas de colores a las nubes como si fueran colchas amontonadas en una cama. Cantan más aves esta mañana: desde las ramas de encima del mandala, el *onc* nasal de un trepador se

une al graznido de un cuervo y al murmullo de una reinita dorsiverde. Cuando los colores acaban de difuminarse bajo la feroz mirada de su madre, el sol, un zorzalito maculado destaca por encima del coro del alba con su canto increíble. Después se acaba el canto, el velo se corre y me quedo con rescoldos de recuerdo.

El canto del zorzalito viene de la siringe, en lo profundo del pecho. Ahí hay membranas que vibran y comprimen el aire que se expulsa de los pulmones. Esas membranas rodean la confluencia de los bronquios y convierten una espiración monótona en música agradable que sube por la tráquea y sale por la boca. Solo las aves producen sonido de esta forma, utilizando un híbrido biológico entre la columna de aire giratoria de la flauta y la vibración de membranas del oboe. Los pájaros cambian la textura y el tono de su canto ajustando la tensión de los músculos que envuelven la siringe; el canto del zorzalito está moldeado como mínimo por diez músculos de la siringe, todos más cortos que un grano de arroz.

A diferencia de la laringe humana, la siringe ofrece poca resistencia al flujo de aire. Eso hace que los pájaros pequeños sean capaces de cantar a más volumen que el ser humano más ronco. Pero a pesar de la eficacia de la siringe, el canto de las aves rara vez se oye a una distancia mayor que un tiro de piedra. El bosque amortigua rápidamente incluso el graznido explosivo del pavo. La energía que propulsa el sonido se absorbe fácilmente, y los árboles, las hojas y la esponjosidad de las moléculas del aire la disipan. Los sonidos agudos se absorben más fácilmente que las notas graves, cuyas largas longitudes de onda les permiten rodear los obstáculos en lugar de salir rebotadas. La belleza del canto de los pájaros, especialmente su contrapunto, es por tanto una bendición a la que solo puede accederse de cerca.

No ocurre lo mismo con el don del sol. Los fotones que han producido este amanecer han recorrido ciento cincuenta millones de kilómetros desde la superficie del sol. Sin embargo, hasta la luz puede ralentizarse y filtrarse. Esta ralentización es de lo más espectacular en las tripas del sol, donde los fotones nacen de la

unión ardiente de átomos presurizados. El núcleo del sol es tan denso que un fotón tarda diez millones de años en abrirse paso hasta la superficie. Por el camino, se encuentra constantemente bloqueado por los protones, que absorben su energía, la retienen un momento y después la liberan en la forma de un nuevo fotón. Cuando el fotón se encuentra en libertad tras millones de años atrapado en la melaza del sol, vuela a la tierra en ocho minutos.

Tan pronto como los fotones alcanzan nuestra atmósfera, su camino vuelve a estar esparcido de moléculas, aunque se trata de moléculas millones de veces menos densas que las de la apretada masa del sol. Los fotones vienen en muchos colores, y algunos son más vulnerables a la obstrucción de la atmósfera. Las longitudes de onda de los fotones rojos son mucho más largas que el tamaño de la mayoría de moléculas de aire, así que, como el graznido de un pavo en un bosque, fluyen con facilidad a través del aire y rara vez se absorben. Las longitudes de onda de los fotones azules se corresponden en mayor medida al tamaño de las moléculas de aire, de modo que el aire absorbe esa longitud de onda corta. Una molécula de aire que absorbe un fotón se agita con la excitación de la energía ingerida y después suelta un nuevo fotón. Ese fotón expulsado sale disparado en una dirección nueva, de manera que la corriente ordenada de fotones azules se dispersa en un rebote de luz. La luz roja no se absorbe ni se dispersa, así que sigue fluyendo. Esa es la razón por la que el cielo es azul; vemos la energía reorientada de los fotones azules, el brillo de miles de millones de moléculas de aire excitadas.

Cuando el sol está alto, llegan a nuestros ojos fotones de todos los colores, aunque algunos azules se desvían por el camino. Cuando el sol está bajo, los fotones tienen que abrirse paso por el aire a través de un camino inclinado, de modo que se pierde más luz azul. La luz roja del amanecer que baña este mandala de Tennessee nació, pues, en los cielos azules matutinos del otro lado de las montañas de Carolina, hacia el este.

Las energías lumínicas y sonoras que envuelven el mandala encuentran un punto de convergencia en mi conciencia, donde su

belleza aviva una llama de aprecio. También hay convergencia al comienzo del viaje de la energía, en el núcleo del sol inconcebiblemente caliente y presurizado. El sol es el origen tanto de la luz del alba como de los cantos matutinos de los pájaros. El resplandor del horizonte es luz filtrada a través de nuestra atmósfera; la música que impregna el ambiente es la energía del sol filtrada a través de las plantas y animales que alimentaron a los pájaros cantores. El encanto de un amanecer en abril es una red de energía que fluye. En un extremo sujeta a la red la materia que el sol ha convertido en energía, y en el otro extremo lo hace la energía que nuestra conciencia ha convertido en belleza.

22 DE ABRIL

SEMILLAS ANDANTES

El brillo primaveral de las flores ya ha desaparecido. Unas pocas *Stellaria media* y un geranio es todo lo que queda del esplendor del mes. De arriba llueven flores marchitas, que aportan a la tierra pruebas de los prodigiosos esfuerzos reproductivos del arce y el nogal americano. A diferencia de las flores chillonas de las efímeras primaverales, estas flores de árbol son sosas y sencillas, sin pétalos evidentes ni adornos de colores. Ese puritanismo extremo a la hora de vestirse indica que el sexo entre los árboles del mandala es algo muy distinto del efusivo festival de néctar y color de las efímeras. Estos árboles no tienen que impresionar a nadie. El viento les lleva el polen, de modo que no necesitan sobornar los ojos ni los paladares de los insectos; las flores pueden reducirse a los elementos utilitarios esenciales.

La polinización por medio del viento es una estrategia especialmente útil para los árboles de floración temprana. Las efímeras primaverales viven en un microclima relativamente cálido y protegido, aunque se esfuerzan en buscar polinizadores. El microclima del dosel arbóreo es más expuesto y todavía menos acogedor para los insectos de principios de primavera. En cambio, no falta viento. Los arces y los nogales rompieron pues el antiguo contrato con los insectos al utilizar métodos físicos antes que biológicos para transportar el polen. Lo que se gana en fiabilidad se pierde, por desgracia, en precisión. Las abejas entregan el polen directamente al estigma de la flor de al lado. El viento no entrega nada; más bien dispersa todo lo que queda atrapado en su movimiento, para gran disgusto tanto de las flores como de los

senos nasales de los seres humanos. Las plantas polinizadas por el viento tienen que liberar por tanto grandes cantidades de polen. Son como náufragos perdidos en una isla que, ante la falta de un servicio postal fiable, tiran al mar millones de botellas.

A diferencia de las flores silvestres hermafroditas, el arce y el nogal producen dos tipos de flores, macho y hembra. Las flores macho penden de las ramitas de modo que el más sutil movimiento del aire las agita. A los arces les cuelgan de unos filamentos tiesos grupos de estas flores. Los filamentos tienen una longitud de uno o dos centímetros y acaban en una mata de anteras, estructuras que fabrican polen y que parecen diminutas bolas amarillas del tamaño de una coma de esta página. Las anteras del nogal cuelgan de guirnaldas peludas llamadas amentos, cada uno de los cuales tiene la longitud de un dedo. En ambas especies las anteras se apiñan en grupos bajo pequeños paraguas, suponemos que para evitar que la lluvia se lleve el polen. Las flores hembra son más pequeñas, ya que no necesitan arrojar grandes cantidades de polen al viento. Sus estigmas interceptan el polen llevado por el viento para empezar el proceso de fecundación. No sabemos mucho de la aerodinámica de los estigmas, pero parece que se ubican en las partes de la planta más expuestas al aire y que están diseñados para que el viento haga espirales a su alrededor, con lo que forma remolinos que ralentizan el aire y de ese modo depositan los granos de polen.

En este momento de la estación, las flores macho han soltado el polen y, completada su labor, los árboles se han deshecho de ellas y han dejado el mandala cubierto de marañas de filamentos verdiamarillos y de amentos. Sin embargo, el trabajo de las flores hembra acaba de empezar. Los huevos fecundados dentro de esas flores tardarán meses en madurar y convertirse en fruto. Las nueces maduras del nogal americano y las semillas de arce no estarán listas para caer hasta otoño.

Las flores silvestres no tienen el lujo de meses de sol veraniego que faciliten su fructificación. La mayoría de efímeras primaverales dan fruto solo algunas semanas después de florecer, con lo que completan toda la reproducción del año antes de que el grueso dosel

arbóreo del verano ahogue la luz. Rodeo el borde del mandala en busca de la hepática cuya flor vi abrirse en marzo. La encuentro justo detrás del calicanto, con las hojas en forma de hígado bien extendidas y un ramo de torpedos gordos y verdes, cada uno del tamaño de un guisante pequeño, sostenido por el pedúnculo. Varios de estos frutos han rodado por el suelo y descubren un pezón blanco y romo en la base, un cuerpo bulboso y una punta afilada. Esa punta es todo lo que queda del estilo, el tallo corto que aguantaba el estigma. La hinchazón verde es la pared del ovario, que ahora encierra una semilla fecundada.

Una hormiga se acerca a uno de los frutos, lo palpa con las antenas y se sube a él. Vuelve a la hojarasca, agarra el fruto y después lo abandona. Otra hormiga repite el mismo proceso minutos después. Cada vez el fruto se mueve unos milímetros, pero después las hormigas se van. Transcurre media hora y pasan de largo más hormigas, que también lo ignoran. Entonces aparece una hormiga grande, acaricia el fruto con las antenas y lo agarra con las mandíbulas en forma de gancho que sobresalen de los lados de la boca. El fruto es tan grande como la hormiga, pero ella lo levanta por encima de la cabeza, con las piezas bucales firmemente clavadas en el extremo blanco y romo del fruto. Sale para el centro del mandala, tropieza con los tallos de flor de arce, recupera el equilibrio, cae en las grietas entre hojas y sigue adelante. Su trayectoria es tortuosa, da rodeos para evitar claros en la hojarasca y atraviesa marañas de amentos. Me identifico con su afán y respiro aliviado cuando llega a un agujero en la hojarasca del tamaño de un centavo de dólar y se esconde. Curioseo el agujero y distingo el color verde del fruto, que un grupo de hormigas empuja y hace girar. El color va desapareciendo a medida que la tierra se traga el fruto, a unos treinta centímetros de donde cayó.

La odisea del fruto de la hepática forma parte de una saga más amplia, que une las historias de las hormigas de bosque con la de las efímeras primaverales. El pezón blanco de la punta del fruto de la hepática es un eleosoma, un festín graso que la planta cocina especialmente para las hormigas. Rara vez se encuentra tan pingüe

comida en paquetes prácticos y desprotegidos, de modo que las hormigas se apresuran a llevar los frutos provistos de eleosoma a los nidos, donde el paquete de alimento se trocea y se entrega a las larvas de la colonia. La siguiente generación de hormigas estará hecha en parte de carne de hepática. Una vez se le quita el eleosoma, las hormigas tiran la semilla incomestible al montón de abono del nido. De ese modo, el orden maniático de la colonia de hormigas coloca la semilla en abono fértil y suelto, el lugar perfecto para germinar.

Las hormigas no solo siembran semillas en lugares convenientes, sino que también ayudan a alejarlas de sus plantas madres y trasladarlas a espacios potencialmente desocupados. La mayor parte de las hormigas desplaza las semillas de efímeras primaverales unos pocos metros, raramente más lejos que a un tiro de piedra de la madre. Es suficiente para no competir con mamá, pero unas distancias de dispersión tan cortas son difíciles de conciliar con lo que sabemos de la historia de las efímeras. Las poblaciones de muchas efímeras cubren toda la extensión de bosque templado del este de Norteamérica, que empieza en Alabama y llega hasta Canadá. No obstante, hace dieciséis mil años ese bosque templado se concentraba en unas pocas bolsas en el golfo de México. La última glaciación cubrió el resto del este de hielo o, en las zonas más meridionales, del tipo de bosque boreal que hoy en día solo encontramos en el norte de Canadá. Las efímeras primaverales se trasladaron por tanto de Florida a Canadá en dieciséis mil años. Sin embargo, si las hormigas posteriores a la glaciación se comportaban del mismo modo que las actuales, las efímeras se habrían desplazado solo diez o veinte kilómetros desde que el hielo se retiró, no los dos mil kilómetros de los que evidentemente fueron capaces. O bien las hormigas actuales son sombras de las grandes esprínteres de antaño, lo que es poco probable; o las pruebas fósiles y geológicas de las glaciaciones son un espejismo, lo que es todavía menos probable; o lo que sabemos sobre la dispersión de semillas es incompleto, y las efímeras primaverales cuentan con algún método desconocido de transporte de larga distancia.

Hasta hace poco, los posibles candidatos a "dispersor misterioso" parecían bastante dudosos. ¿Insólitos vendavales que habrían llevado las semillas hasta Canadá? Poco probable. ¿Barro bajo las uñas de las patas de las aves migratorias o semillas transportadas en la barriga? Es posible, aunque la mayoría de aves migratorias pasa por los bosques meridionales antes de que las efímeras esparzan las semillas. Las plantas de *Trillium sessile* sueltan las semillas tan tarde que las aves migratorias han empezado el viaje de vuelta y las llevarían en dirección contraria. ¿Roedores u otros herbívoros que transportarían semillas en sus intestinos? Se puede descartar de entrada: trituran las semillas en la boca y las destrozan durante la digestión.

Los ecólogos llaman a ese desajuste entre el rápido avance de las efímeras y su capacidad de dispersión aparentemente baja la "paradoja de Reid", a partir del nombre de un botánico del siglo XIX que se encontró con un problema similar al estudiar la propagación de robles en la Gran Bretaña posglacial. A los filósofos y los teólogos les encantan las paradojas, que consideran honorables señales de verdades importantes. Los científicos las ven con peores ojos, ya que la experiencia les ha enseñado que "paradoja" es una forma elegante de decir que se nos escapa algo obvio. La resolución de la paradoja probablemente demostrará que una de nuestras suposiciones evidentes es vergonzosamente falsa. Quizá eso no está tan alejado de una paradoja filosófica. La diferencia consiste en la profundidad de la falsa suposición: relativamente superficial y fácil de arrancar en la ciencia, profunda y difícil de desterrar en filosofía.

Puede que la suposición falsa que subyace a la paradoja de Reid no esté ni mucho menos enterrada, sino que yazca en la hojarasca de los mandalas de todo el continente. Los excrementos de ciervo que, al igual que las heces de los roedores, habíamos supuesto que no contenían semillas viables de efímeras primaverales, podrían resolver la paradoja. Esta resolución cumple los criterios científicos clásicos de solución de paradojas: un experimento sencillo con una respuesta del tipo "¿Cómo no se le había ocurrido antes a nadie?". Primer paso, recoger excrementos de ciervo del bosque; segundo

paso, buscar semillas en esos excrementos; tercer paso, plantar las semillas, verlas crecer y llegar a la conclusión de que las semillas "dispersadas por las hormigas" no tienen un buen nombre. Quizá "meneadas por las hormigas" y "lanzadas por los ciervos" describiría mejor la situación, ya que resulta que estos últimos son capaces de transportar las semillas muchos kilómetros. Las hormigas solo consiguen hacerlo unos meros centímetros. ¿Y qué hay del resto de mamíferos herbívoros que también descartamos como potenciales portadores de semillas? Nadie se ha agachado a su paso para encontrar una respuesta. Tenemos por delante mucha boñiga que pasar por el tamiz.

Encuentren lo que encuentren los tamices, ya podemos concluir que nos precipitamos al clasificar muchas efímeras primaverales como "dispersadas por hormigas"; incluso dimos a su relación una etiqueta contundente: mirmecocoria. La realidad de la dispersión de semillas es más compleja y parece que depende de la escala. A pequeña escala, las hormigas son en efecto las principales dispersoras. Nadie como ellas para recoger las semillas y plantarlas en los mejores emplazamientos. Los ciervos son jardineros mucho menos meticulosos. Por lo tanto, desde la perspectiva de cada semilla por separado no hay mejor suerte que caer en manos de una hormiga. Sin embargo, a gran escala los mamíferos son mucho más importantes que las hormigas. Cuando un ciervo consigue transportar una semilla a larga distancia el resultado puede ser que se funde una nueva población y la especie salte a un bosque anteriormente desocupado. Desde la perspectiva de la especie, los ciervos andariegos son más importantes que las hormigas inquietas y maniáticas. Sin ciervos, las efímeras estarían confinadas a una estrecha franja de bosque en la costa del golfo de México. En cambio, han hecho autostop por todo el continente.

La recién descubierta importancia de los ciervos pone en duda la función del eleosoma. Hemos supuesto que la selección natural diseñó ese apéndice aceitoso para atraer a las hormigas, ayudando así a colocar la semilla en tierra abonada. Probablemente esa explicación sigue siendo válida, al menos en parte. Al fin y al cabo,

las hormigas son las mejores sembradoras de semillas, y la selección natural favorece cualquier característica que ayude a pasar los genes a la próxima generación. Sin embargo, la selección también favorece aquellas características que lleven los genes por los cuatro vientos. El mandamiento de la evolución no es solo "multiplicaos", sino "id y multiplicaos". Las madres que no envían a algunos de sus hijos de viaje salen perdiendo a largo plazo. Eso es así sobre todo en especies cuya historia ha venido marcada por la recolonización de grandes extensiones de hábitat. Casi todas las flores de hepática de Norteamérica descienden de un dispersor a larga distancia que tuvo éxito. Podríamos encontrar genes del culo inquieto, rasgos que hacen más probable que una semilla se deposite lejos de sus padres. El eleosoma, por tanto, puede estar diseñado en parte con esa finalidad, despertar el interés de los ágiles labios de los ciervos, animarlos a arrancar el fruto expectante.

A la vida paradójica de las efímeras se le incorporaron nuevas capas de complejidad con la llegada de los europeos. Troceamos el bosque y pusimos el transporte de semillas más difícil a las hormigas. Al mismo tiempo, las poblaciones de ciervos cayeron en picado y después se dispararon. Se ha roto el equilibrio entre hormigas y ciervos. ¿Cómo van a reaccionar las efímeras? ¿Pueden reaccionar? La gran cantidad de ciervos puede convertir la bendición de la dispersión en la maldición del pacer intensivo. El mordisqueo sostenido puede exterminar a las efímeras y convertir nuestras especulaciones sobre su reacción ante la cambiante selección natural en irrelevantes.

Hoy en día hay que añadir un tercer peso a la balanza. Las hormigas coloradas alóctonas han invadido los bosques meridionales y se desplazan hacia el norte. Crecen en las zonas con problemas, lo que las hace especialmente abundantes en bosques que ya están sufriendo los efectos de la fragmentación. Las hormigas coloradas recogen frutos provistos de eleosomas, pero no son buenas dispersoras, ya que depositan las semillas cerca de la planta madre, lo que condena a las plantas de semillero a una infancia dedicada a la competencia con un familiar más grande y suele acabar con la

muerte de la planta de semillero. Las hormigas coloradas también pueden ser depredadoras y comerse todo el fruto en lugar de solo el eleosoma. Esta invasión de hormigas extrañas podría minar la relación entre el eleosoma y todos sus dispersores autóctonos y haría del regalo aceitoso un lastre en lugar del activo que ha sido durante milenios. Puede que las efímeras estén atrapadas en una carrera entre la selección natural y la extinción. O bien se adaptan a unas condiciones nuevas o disminuirán en número ante una nueva realidad para la que no estaban preparadas.

El paso de las efímeras por el tumulto de la Edad de Hielo muestra que pueden adaptarse con rapidez a vientos ecológicos de cambio. Sin embargo, la Edad de Hielo fue una tormenta que durante miles de años iba y venía. Hoy en día las plantas se enfrentan a cambios impredecibles que les caen encima en cuestión de décadas. La paradoja del ecólogo se ha convertido en la plegaria del conservacionista. Puede que este mandala forme parte de la respuesta a esa plegaria, un pedazo de bosque que en términos relativos no ha sido fragmentado ni invadido, donde el antiguo reglamento ecológico todavía se tiene que rasgar del todo y se lo tiene que llevar el viento. Estas hormigas, estas flores, estos árboles encierran la historia y la diversidad genéticas a partir de las cuales se escribirá el futuro. Cuantas más páginas rasgadas por el viento conservemos, más materiales tendrá el amanuense de la evolución en los que inspirarse cuando refunda la saga.

29 DE ABRIL

EL TERREMOTO

Las tripas de la tierra retumban. Los intestinos de piedra se estremecen unos tras otros, liberan la tensión y se relajan. El estallido se encuentra a noventa y seis kilómetros de distancia y diecinueve kilómetros bajo la piel. Al liberarse la energía que la roca estresada había acumulado, parte de la furia se dispersa en oleadas de tierra en movimiento.

Primero llega el rugido de las ondas de compresión. Como una manada de trenes diésel, el sonido se propaga por la tierra, nos saca del sueño de antes del amanecer y siembra la confusión. La tierra esparce el sonido, que nos baña durante unos pocos segundos y después sigue volando. Las ondas de compresión se propagan por la tierra a más de un kilómetro por segundo. Sigue una pausa y después viene el impacto de las ondas de superficie, que sacuden y hacen temblar la casa. Las ondas combinan el movimiento horizontal y vertical, comprimen y cortan simultáneamente. Como pequeños botes que dan bordadas contra el oleaje, las casas se tuercen y se balancean con la tormenta geológica. Cuando la mar está fuertemente agitada, las casas quedan destrozadas, incapaces de resistir las violentas presiones.

Estamos de suerte. El oleaje es moderado y nuestra casa sigue en pie. El rugido del exterior pasa a ser sustituido por el repiqueteo y traqueteo de dentro. Los cuadros enmarcados que cuelgan de la pared oscilan como péndulos; cuando la tierra da una sacudida a la casa hacia un lado, los marcos no se mueven, quietos por la inercia. Entonces vuelve la pared, ¡bang!, se aleja de nuevo y recupera su posición, ¡bang! Las llaves tintinean, los vasos chocan entre sí en un

brindis por el terremoto y la vajilla resbala y hace un ruido metálico. Todo lo que está pegado a la tierra se mueve y todo lo demás está quieto o ralentizado, pero los ojos nos engañan y nos dicen que los objetos domésticos bailan dentro de paredes inmóviles. Las sacudidas siguen durante unos quince segundos y después desaparecen entre temblores.

La inercia de los objetos suspendidos se utiliza para medir la fuerza de los terremotos. Un bolígrafo colgado de la pesa de un péndulo traza los movimientos de la tierra en un papel milimetrado colocado debajo de la punta. Cuando hay un terremoto, el bolígrafo se queda quieto, pero tanto el papel como el marco del péndulo se mueven y el bolígrafo registra por consiguiente el alcance del movimiento. Algunos sismógrafos cuentan con péndulos de una altura de tres pisos que registran cualquier pequeño temblor del suelo.

Los garabatos calibrados de los bolígrafos colgantes nos dan la escala de Richter. El terremoto de esta mañana fue de 4,9 grados, aproximadamente la misma magnitud que una pequeña bomba nuclear o mil veces la fuerza de una explosión de cantera potente. Debido a que la escala de Richter es logarítmica, el valor real de la energía de un terremoto aumenta exponencialmente según los números de la escala. Un terremoto de 3 grados es menor, uno de 6 provoca algunos daños, uno de 9 es devastador y un terremoto de 12 grados es tan potente que partiría la tierra en dos, o eso se dice.

Me voy corriendo al mandala de madrugada, deseoso de ser testigo de las consecuencias geológicas del terremoto. Las montañas son seres dinámicos, de modo que espero ver rocas que hayan rodado o grietas en algún acantilado. Sin embargo, todo está tal como lo dejé. El mandala parece completamente impasible. Si ha habido algún cambio, escapa a mi percepción. Las rocas de arenisca están sentadas como viejos monjes, en una contemplación profunda que va más allá de la quietud.

He topado con una interrupción, con una discontinuidad en la naturaleza de la realidad. El drama biológico que se representa alrededor y encima de las piedras del mandala mide el tiempo en

segundos, meses o siglos, y la escala física en gramos o toneladas. La realidad geológica, en cambio, se cuenta en millones de años y en miles de millones de toneladas. Parece que la posibilidad de presenciar en directo una actuación de la geología en el mandala, incluso después de un terremoto, es extraordinariamente remota. El tempo y la escala de la geología no guardan proporción con la experiencia biológica.

Disimulamos nuestra incomprensión de la forma habitual, mediante palabras. Las rocas del mandala tienen unos trescientos millones de años y se han formado a partir del enorme río de arena que bajaba de una montaña todavía más antigua hacia el este. Grano a grano, la corteza terrestre se ha desmontado y reconstruido a sí misma una y otra vez a un ritmo de millones de milenios. Se trata de ideas sobrenaturales, que van más allá de la naturaleza de nuestra experiencia o imaginación.

Parece como si los lentos movimientos de la tierra se dieran en otro reino, separado de la vida por un profundo abismo de escala temporal y física. Eso ya es un reto suficientemente importante para nuestra mente. Con todo, la verdad más insondable del abismo es que hay un hilo, una conexión sutil entre los instantes de la vida y la inverosímil longevidad de la piedra. El hilo lo teje la fecundidad persistente de la vida. Diminutas hebras hereditarias unen a madre e hijo, y sumadas se remontan miles de millones de años. Las hebras se mueven de año en año, a veces se bifurcan en nuevas líneas y a veces se acaban para siempre. Hasta el momento, la diversificación dentro del hilo ha seguido el ritmo de la extinción, y las pulgas biológicas y mortales de los dioses pétreos e inmortales han alcanzado su propia inmortalidad contingente. Sin embargo, cada hebra de la cuerda es una carrera entre la procreación y la muerte. La fuerza generadora de la vida ha sido suficientemente intensa para ganar esa carrera año tras año durante milenios, pero nada garantiza la victoria final.

El mandala está situado en un solo punto de ese hilo. El resto del abismo lo salvan los ancestros y descendientes de las especies que hay aquí. Ninguna de estas criaturas experimentará de verdad la

inmensidad del tiempo geológico. Es fácil, por tanto, olvidar o ignorar esa inmensidad y suponer que nuestro entorno físico es fijo, "grabado en piedra". Estoy sentado en el mandala bajo un acantilado que ahora es el extremo occidental de la meseta de Cumberland. La tierra aquí está hecha de arenisca y, más abajo de la pendiente, de caliza. El agua de esta ladera de la montaña desemboca en el río Elk y de ahí va hasta el golfo de México. Esas realidades constituyen las paredes aparentemente sólidas del mundo del mandala. Sin embargo, esas paredes resultan ser velos. Tras ellos, al otro lado del abismo, el mundo está en movimiento. El mandala está situado en un antiguo delta de río que a su vez se asienta sobre un viejo fondo marino. Todo esto se levantó y sufrió erosión. Océanos, ríos y montañas cambiaron de sitio en una danza de una magnitud aterradora. Anoche el mandala tembló por un tirón de dedo infinitesimalmente pequeño de esa danza, un recordatorio de la abrumadora otredad de la tierra física.

7 DE MAYO

EL VIENTO

Un caracol *Mesodon* del tamaño de una bola de chicle desliza el cuerpo gris por la hojarasca y después trepa a una ramita. A medio camino, da un bandazo hacia un lado y cae al suelo, arrojado por la humedad que impregna todas las superficies del mandala. Dos días de tormenta han llenado de agua todas las grietas y poros. Los árboles jóvenes se inclinan bajo el peso de las gotas, y el resto de flores silvestres efímeras están aplastadas, derrotadas por la lluvia intensa e incesante. Una zona de podofilo justo al oeste del mandala ha quedado arrasada como si se le hubiera pasado un enorme rodillo. Aunque ya hace tiempo que ha amanecido, el cielo está oscuro y arroja una luz tenue que vuelve más intensa la humedad. El mandala rezuma aire húmedo por todos lados, y el cielo y el bosque se confunden. Parece como si la hojarasca no tuviera capa superior; las hojas en descomposición sencillamente se evaporan y se convierten en aire húmedo y oscuro.

La tormenta llegó con vientos fuertes, algunos de los cuales se arremolinaron en tornados. Ninguna de esas columnas de aire vengativo pasó por el mandala, pero en el suelo del bosque yacen esparcidas las pruebas de la agitación del dosel. Hojas recién arrancadas adornan la hojarasca. Hay ramitas partidas y ramas caídas enmarañadas en el sotobosque. La fuerza del viento todavía tiene que amainar; aún recorre el bosque a sacudidas y los árboles se menean violentamente a su paso. El dosel protesta con un penetrante silbido, el sonido de millones de hojas aporreadas. El bosque cruje y chasquea cuando las agotadas fibras de madera sobrepasan su capacidad de resistencia.

El aire está más quieto a ras del suelo. Noto una brisa fuerte, pero hay suficiente calma como para que los mosquitos den vueltas alrededor de mi cabeza o mis brazos, acercándose y alejándose mientras van tramando su ataque. Los mosquitos y yo estamos en medio de una espectacular gradiente de energía física. La superficie del dosel es la costa contra la que el aire se da golpes, chocando con las copas de los árboles ola tras ola. La capa de matorral del bosque, donde estoy sentado, se halla muy protegida por los árboles de encima y solo le llegan remolinos débiles de las grandes rachas que aporrean el dosel. La superficie del mandala todavía está más calmada. Los caracoles apenas notan algo de brisa mientras comen de la hojarasca. Hoy no se ven insectos ni caracoles en el dosel arbóreo; solo algunos valientes desafían las ráfagas de abajo, pero la vida sigue igual en la hojarasca.

Los árboles no están bien preparados para absorber la fuerza del viento. Las hojas están pensadas para interceptar todo el sol que puedan. Desgraciadamente, eso hace que también sean unas excelentes receptoras de viento. El flujo de aire tira de las superficies de las hojas, semejantes a velas, a sotavento. Las hojas y las ramitas no se estiran demasiado, así que el tirón se transmite al resto del árbol. A medida que el viento gana fuerza, las hojas empiezan a agitarse. Una hoja que se agita genera más resistencia al avance que una hoja rígida, de modo que el tirón al árbol aumenta bruscamente. La fuerza de decenas de miles de hojas empujadas por el viento se intensifica por la altura de la copa del árbol. El tronco actúa como palanca y convierte el árbol en un enorme pie de cabra. El viento tira de un extremo, el tronco multiplica la fuerza y ¡crac! el árbol queda destrozado o arrancado de raíz.

La selección natural no permite que los árboles opten por la solución obvia, a saber, abandonar el brazo de palanca y abrazar el suelo. La competencia por la luz entre las plantas del bosque se lo impide. Un árbol que no consiga desarrollar un tronco alto no será capaz de captar demasiada luz solar y dejará pocos o ningún descendiente. Los árboles crecen hasta la altura que les permite su

arquitectura de apoyo y cada uno se estira para asegurarse un lugar sin sombra en el dosel. Otra solución al problema del viento sería volver más rígido el tronco, endurecer las ramitas y convertir las hojas en placas sólidas. Ese es el enfoque humano: nuestros paneles solares y antenas parabólicas están firmemente sujetas y solo las agita el viento cuando algo va mal. Sin embargo, ese enfoque es caro. Unos troncos y unas hojas sólidos requerirían una inversión considerable en madera. Las hojas como placas también serían menos eficaces de cara a la fotosíntesis, ya que habrían perdido su fina apertura a la luz y al aire. Además, se tardaría más tiempo en fabricar ese tipo de hojas, lo que atrasaría el crecimiento primaveral del árbol. En suma, ganar músculo no es una buena solución.

La respuesta de los árboles a la fuerza del viento tiene ecos del taoísmo de los líquenes: no te defiendas, no opongas resistencia; inclínate y enróllate, deja que tu adversario se agote ante tu sumisión. La analogía es al revés, ya que los taoístas se inspiraron en la naturaleza, así que "el Tao es arbolista" es más exacto.

Con vientos moderados, las hojas se inclinan hacia atrás y se agitan. A medida que aumenta la intensidad, las hojas cambian de comportamiento y absorben parte de la fuerza del viento, que utilizan para plegarse en una posición defensiva. Las hojas se doblan sobre sí mismas enrollando los bordes hacia el centro. Adoptan una forma como de peces estrambóticos y repelen el aire lejos de sus superficies aerodinámicas. Las hojas compuestas del nogal americano pliegan cada folíolo sobre el pedúnculo y forman una especie de cigarro mal liado. El aire pasa de largo a toda velocidad y su garra letal aprieta menos. A medida que el viento amaina, las hojas se estiran y vuelven a desenrollarse como si fueran velas. Lao-Tsé nos recuerda que "la hierba y los árboles son maleables y frágiles cuando viven, pero secos y marchitos cuando han muerto. De este modo, los duros y fuertes son compañeros de la muerte, mientras que los flexibles y débiles son compañeros de la vida. Cuando un arma es fuerte acaba destrozada; cuando un árbol es fuerte se tala".

El tronco también cede al empuje del viento en lugar de resistir como una roca. Está pensado para estirarse y flexionarse mediante la energía que absorben las fibras de celulosa microscópicas de las que la madera está tejida. Las fibras están dispuestas en rollos, de manera que cada una actúa como un muelle. En cuanto a los rollos, están colocados los unos encima de los otros en capas y forman los conductos portadores de agua que la hacen circular arriba y abajo del tronco. Cada conducto tiene muchos rollos y cada rollo está enroscado con un ángulo ligeramente distinto. El resultado es un tronco lleno de muelles, cada uno de los cuales se halla diseñado para tirar al máximo con un grado de extensión distinto. Los muelles más apretados resisten con fuerza cuando se comienza a tirar de la madera. Los más sueltos toman el relevo cuando la tensión aumenta y los muelles apretados fallan.

Miro el bosque y no veo más que troncos en movimiento. Se mueven como tijeras, inclinándose de forma alarmante, con las copas yendo de aquí para allá. A pesar de su elegante adaptación y de cómo rehúyen la fuerza del viento, la probabilidad de que algunos caigan es alta. A cinco pasos del mandala han caído dos grandes árboles. A juzgar por su frescura, es probable que eso sucediera hace uno o dos años. Uno es un nogal tumbado hacia el este que fue arrancado de raíz. El otro es un arce tendido hacia el norte al que se le partió el tronco a poco más de un metro del suelo. Ambos eran más pequeños que los de su alrededor. ¿Tal vez la sombra de competidores más grandes les fue minando la energía? Si fuera el caso, no les habría crecido madera nueva y puede que los hongos hubieran invadido los troncos y raíces debilitadas para zamparse los rollos de celulosa. También puede ser que interviniera la mala suerte. Cualquiera de los dos árboles puede haber topado con una ráfaga particularmente fuerte, y el nogal crecía en medio de unas rocas que le bloqueaban las raíces. Sean cuales fueren las particularidades de su historia, estos árboles caídos acaban de comenzar la próxima parte de su viaje a través de la ecología de este bosque primario. Los hongos, las salamandras y miles de especies de invertebrados crecen dentro y debajo de los troncos en

descomposición. Como mínimo la mitad de la aportación de un árbol al tejido de la vida empieza tras su muerte, así que una forma de medir la vitalidad de un ecosistema forestal es la densidad de carcasas de árbol. Uno está en un verdadero bosque si no puede tomar un camino recto por culpa de las ramas y troncos caídos. Un suelo forestal desnudo es síntoma de mala salud.

Hoy yacen esparcidos en el suelo del bosque no solo ramas y árboles caídos, sino también sámaras verdes de arce, los frutos descartados cuyas semillas eran defectuosas o cuyos pedúnculos eran demasiado débiles. La semilla incrustada en cada fruto fue fecundada por el esperma de un grano de polen llevado por el viento. El fruto es un plano aerodinámico, de modo que a medida que gira genera un empuje hacia arriba y se ralentiza su descenso, lo que aumenta la distancia que es capaz de recorrer. Para el arce el viento es pues la diosa tanto de la unión sexual como de las ansias infantiles de conocer mundo.

La variedad de formas de las sámaras de arce esparcidas por el mandala sugiere que los arces no son receptores pasivos de los caprichos de la diosa del viento; los árboles tienen la capacidad de amoldarse a su carácter a través de la selección natural. La variación en el diseño del fruto puede llevar a una adaptación evolutiva: las formas de sámara más adecuadas al tipo de viento de cada rincón del mundo sobrevivirán y prosperarán. Incluso sin un cambio evolutivo como ese, la diversidad de formas de sámaras permite que cada árbol compre cientos de billetes de la lotería aerodinámica. El cielo ya puede aullar, berrear o soplar, que los arces tendrán un diseño de sámara que encaje con su humor. El abrazo taoísta al viento es por tanto una filosofía válida a lo largo de la vida del árbol. Las hojas se pliegan, los troncos se inclinan y los frutos son lo suficientemente variables para acomodarse a la contundente naturaleza del viento y utilizarla.

18 DE MAYO

LA HERBIVORÍA

Las hojas perfectas de la primavera se han desgastado. La lisura de su superficie aparece rota por cortes irregulares u ordenadas marcas de mordedura. En parte son responsables las interminables tormentas de las últimas semanas. Un sasafrás joven se levanta a poca altura con las hojas hechas trizas por el granizo. Las hojas de arce están rajadas de forma parecida. Esa violencia física impresiona, pero solo explica una pequeña parte del daño que han sufrido las hojas del mandala. Los principales culpables son las bocas de los insectos, que roen, chupan, mordisquean y raspan día a día, derribando lo que las plantas han construido.

La mitad de todas las especies de insectos comen plantas y los insectos representan entre la mitad y los tres cuartos del total de especies que hay en la tierra. Las plantas sufren pues la plaga de los ladrones de seis patas. Las especies de plantas pequeñas como el trébol tienen que habérselas con cien o doscientas especies de insectos herbívoros, mientras que los árboles y otras especies más grandes se enfrentan a mil o más. Estos cálculos aproximados corresponden a zonas septentrionales, de modo que el número de especies de insectos que deben alimentarse o succionar de cada una de las especies de plantas del mandala es probablemente mucho más alto. La riqueza de especies es todavía mayor en el trópico. El mundo está lleno de merodeadores vegetarianos y ninguna planta les pasa por alto.

Las señales más evidentes de herbivoría en el mandala son los agujeros de las hojas. Las hojas de sanguinaria están profundamente dentadas de manera natural, pero los insectos han

alterado el recorrido de esas líneas con boquetes y mordiscos. Del mismo modo, el *Trillium sessile* presenta vacíos irregulares. Las hojas de calicanto están salpicadas de cortes ovales y en los bordes de las hojas tiene labrados unos semicírculos perfectos. Los autores del crimen –o los artistas, según como se mire– ya han huido. Probablemente se trate de orugas, el estadio larvario de las mariposas y las mariposas nocturnas. Las orugas, diseñadas para centrarse exclusivamente en convertir hojas en carne de insecto, son las campeonas de la herbivoría. Sin embargo, no se ve ninguna por allí, aparte de una que masca una hoja de arce y cuyos intestinos palpitantes pueden adivinarse a través de la piel verde y fina. Busco en los bordes de las hojas, los pecíolos y retoños, y no encuentro nada. O bien los insectos están escondidos por la hojarasca o han subido en la red trófica, quizá hasta la barriga de algún polluelo.

Los minadores también han dejado su impronta, sobre todo en las hojas de los arces jóvenes. Los minadores son como las personas que abren un sándwich o una galleta, se comen el relleno y dejan el resto. No lo hacen desbaratando la galleta, sino zambulléndose y metiendo los cuerpos aplanados y minúsculos entre la piel superior e inferior de la hoja. Abren un túnel hasta el centro de la galleta, se comen las células de dentro, avanzan lentamente y, por culpa de esa forma de alimentarse, dejan tras ellos una cicatriz. Algunas especies se mueven en círculos y producen lunares marrones en las hojas; otras se retuercen y dibujan líneas aparentemente azarosas, garabateando sendas estrechas de lado a lado de la hoja. Otras especies más meticulosas se mueven de aquí para allá, se comen sistemáticamente toda la hoja y dejan una marca como la de un césped recién cortado. Los minadores son las larvas de una serie de insectos voladores taxonómicamente variados, que incluyen a las crías de moscas, las mariposas nocturnas y los escarabajos. Cuando las larvas han acabado su tarea, se convierten en adultos provistos de alas que desovan en las hojas y dan lugar a la siguiente generación de minadores.

El arbusto de viburno de enfrente presenta un tipo de herbívoro completamente distinto en el tallo. El insecto está en un brote tierno

en la punta del arbusto, con el verde intenso perfectamente a juego. Agacha la cabeza y da la espalda a la punta del tallo; levanta ligeramente las alas y el cuerpo, que tiene la forma de una zapatilla oriental o un estrambótico zueco holandés. La impresión general es de mimetismo casi perfecto con un brote. Sin embargo, no se trata de un brote inocente. La zapatilla verde es una chicharra, un insecto que se pega a sus huéspedes como una garrapata.

Las mandíbulas de las chicharras se estiran hasta asomar una aguja fina y flexible que puede retorcerse entre las fibras vegetales y llegar hasta los vasos sanguíneos de la planta, el xilema y el floema. Son el mismo tipo de vasos que suben por los troncos de los árboles, pero en los tallos nuevos de piel fina del viburno los vasos están cerca de la superficie y las chicharras los sangran con facilidad. El xilema transporta sobre todo agua, mientras que el floema es rico en azúcares y otras moléculas de alimento. Las chicharras prefieren por tanto alimentarse del floema e introducen las afiladas piezas bucales en los vasos. Debido a que el floema está presurizado por el flujo de agua azucarada de las hojas a las raíces, las chicharras se limitan a sangrar los vasos y dejan que la planta les eche un chorro de alimento en la boca. Las chicharras y sus parientes los áfidos son tan hábiles sangrando el floema que los científicos que estudian las plantas se aprovechan de su maña. Ninguna aguja humana puede igualar la exquisita delicadeza de la boca del insecto, así que los investigadores parasitan al parásito y le cortan la aguja, lo que mata al insecto pero deja una sonda alojada en las células del floema.

Los insectos que se alimentan de la savia de las plantas se enfrentan a un problema más grave que acabar tristemente en un laboratorio de vez en cuando. El floema es una maravillosa fuente de azúcar, pero tiene pocos aminoácidos, los pilares de las proteínas. El xilema tiene poco alimento de cualquier tipo. La savia del floema es de diez a cien veces más pobre en nitrógeno que las hojas, y las hojas son diez veces más pobres que la carne de los animales. Alimentarse de savia es como intentar seguir una dieta equilibrada a partir de una caja de refrescos. Las chicharras solucionan el problema bebiendo cada día doscientas veces el peso de su cuerpo

en seco de savia, lo que equivaldría a que un humano bebiera casi cien latas de refresco diarias. Ese enorme volumen compensa la baja concentración de nitrógeno de la savia.

La estrategia ultrabebedora de las chicharras genera otro problema: ¿cómo deshacerse del excedente de agua y azúcar sin eliminar también el nitrógeno? La evolución ha resuelto el problema con la creación de dos caminos para el líquido del floema que beben las chicharras. El intestino dispone de un filtro que manda el agua y el azúcar no deseados por un desvío y que solo deja pasar las valiosas moléculas de alimento. El agua y el azúcar desviados se evacuan en forma de gotas a través del ano, lo que da lugar a la "ligamaza" pegajosa que cubre las plantas infestadas de chicharras, áfidos o cochinillas. Algunos entomólogos defienden que esa ligamaza es el maná que los israelitas comieron durante el Éxodo. Es posible, desde luego, pero cuesta imaginar a alguien subsistiendo durante cuarenta años a base de excreciones de chicharras pobres en nutrientes, aunque si la ligamaza se complementa con unas bandadas de codornices asadas podría ser.

Incluso con un sistema de filtración sofisticado en los intestinos, la dieta de las chicharras es inadecuada o lo sería si no les ayudaran las bacterias. La savia de las plantas no solo está aguada, sino que contiene una mezcla desequilibrada de aminoácidos; se hallan presentes algunos de los aminoácidos necesarios para el crecimiento de los insectos, pero otros no. Los insectos no pueden sacarse de la manga los aminoácidos que faltan. Los intestinos de las chicharras tienen en cambio células especialmente diseñadas para acoger bacterias productoras de aminoácidos. Es un trato que beneficia a ambas partes: las bacterias obtienen un lugar donde vivir y un suministro constante de comida, y los insectos consiguen los nutrientes que les faltaban. A diferencia de los microbios que nadan sueltos en el rumen de los ciervos, esas bacterias están incrustadas dentro de las células del huésped. Como las algas de los líquenes, ni las bacterias pueden vivir fuera del huésped ni el huésped puede vivir sin sus ayudantes internos. La chicharra de la rama de enfrente es por tanto una fusión de vidas, otra muñeca rusa del mandala.

La dependencia de las chicharras respecto a sus ayudantes bacterianos interesa especialmente a los entomólogos que trabajan para las empresas de control de plagas. Las chicharras y los áfidos causan estragos en las cosechas y a menudo transmiten enfermedades a las plantas que pican. Si la relación entre el insecto y la bacteria pudiera dañarse o deteriorarse de algún otro modo, los entomólogos serían capaces de limpiar los campos de esos alborotadores. La idea todavía tiene que llevarse a la práctica, pero espero que si algún día lo hace no dejemos que la brillantez de nuestro ingenio nos impida darnos cuenta de los posibles costes. Las sustancias químicas destinadas a cortar el vínculo entre las bacterias beneficiosas y sus huéspedes pueden tener consecuencias que vayan mucho más allá de librar de chicharras las cosechas. La vitalidad de la tierra depende de la actividad de esas bacterias, igual que lo hace la salud de nuestro propio intestino. A un nivel más profundo, dentro de las células de todos los animales, plantas, hongos y protistas viven antiguas bacterias. Las chicharras son la punta del iceberg. Dando martillazos a esa punta se corre el riesgo de abrir grietas por todos lados.

En el mandala hay insectos diseñados para robar todas las partes de una planta. Una variada caja de herramientas de piezas bucales de insectos se alimenta de flores, polen, hojas, raíces y savia. No obstante, el mandala es verde. Las hojas están un poco rasgadas, pero todavía dominan el bosque. Arriba las hojas se amontonan en capas y no me dejan ver el cielo, a mi alrededor los arbustos se extienden a lo largo de la ladera y de nuevo me limitan la vista, y abajo piso una alfombra de árboles jóvenes y hierbas del bosque. El bosque parece el banquete celestial de un herbívoro. ¿Por qué no está desnudo el mandala? Es una pregunta sencilla, pero sobre la que la gente discute mucho y que, con razón, genera mucha polémica entre los ecologistas. La relación entre los herbívoros y las plantas crea el marco para el resto del ecosistema del bosque. Si no acertamos la respuesta o si no somos capaces siquiera de darla,

nuestra comprensión de la ecología forestal naufraga y nadamos en la ignorancia.

Puede que las aves, las arañas y los demás depredadores tengan parte de la respuesta. Tal vez su hambre mantiene a raya las voraces plagas de insectos y protege a las plantas impidiendo que las poblaciones de herbívoros crezcan lo suficiente como para hacer realidad su potencial destructivo. Un corolario de esta idea es que los insectos herbívoros rara vez compiten entre ellos; los contienen sus depredadores, no sus iguales. Eso es importante porque la competencia es la fuerza que dirige la evolución. Si las poblaciones herbívoras estuvieran limitadas solo por la depredación, esperaríamos que la selección natural se hubiera aplicado más en ayudar a que los herbívoros se libraran de sus predadores que en darles ventaja cuando compiten por el alimento.

La idea de que los depredadores contienen las poblaciones de insectos se ha puesto a prueba construyendo jaulas alrededor de las plantas. Si la depredación gobierna el mundo de los insectos, el número de insectos debería dispararse dentro de las jaulas y de las plantas enjauladas solo deberían quedar pedazos y muñones. Los resultados de los experimentos de enjaulamiento son ambivalentes. Las poblaciones de insectos aumentan a veces cuando se ahuyenta a los depredadores, pero el incremento numérico rara vez es espectacular, y en algunas estaciones y lugares la jaula no surte ningún efecto. Incluso cuando las jaulas hacen que crezcan las poblaciones de insectos, las plantas enjauladas mantienen las hojas, aunque presentan un aspecto más mordisqueado que sus parientes no enjauladas. La depredación no puede por tanto ser la única explicación de la aparente escasez de herbívoros.

Nosotros también comemos plantas, y nuestro comportamiento al alimentarnos sugiere otra manera de enfocar el enigma del verdor de los bosques. Vivo rodeado de arces, nogales americanos y robles, pero nunca me he encontrado con una ensalada de hojas de árbol en el plato. Las hierbas del bosque crecen profusamente a mis pies, pero tampoco ellas han formado nunca parte de mi dieta. Los libros de botánica medicinal me cuentan que las hierbas del mandala en

pequeñas dosis alivian dolencias, pero, según la especie de hierba, más de un bocado puede causar paro cardíaco, glaucoma, molestias estomacales, visión de túnel o irritación de las membranas mucosas. Hemos eliminado las toxinas de nuestros cultivos domesticados y eso nos ha dado una visión distorsionada de la realidad de la herbivoría. De acuerdo, la evolución no nos ha llevado a comer hojas y carecemos de los recursos bioquímicos eliminadores de la toxicidad con los que cuenta la mayoría de verdaderos herbívoros, pero la incapacidad de comernos casi todas las plantas que nos rodean subraya un punto importante: el mundo no es tan verde como parece. Ese punto se ve reforzado por el hecho mismo de que otros herbívoros disponen de métodos bioquímicos especializados para neutralizar las toxinas de los alimentos. El mandala no es un banquete a la espera de que se sienten los comensales, sino un bufé diabólico de platos envenenados de los que los herbívoros arrancan los bocados menos letales.

Los químicos orgánicos confirman la sensación de nuestras papilas gustativas. El mundo es un lugar amargo, lleno de elementos disuasorios, de otros que alteran la digestión y de venenos. Los halcones también lo saben y utilizan vegetación fresca para forrar los nidos y ahuyentar pulgas y piojos. Pensemos también en *The New York Times*. Los insectos que crecen en contenedores llenos de viejos números del periódico no llegan a la madurez. La culpa no es de la calidad de la lectura que se les ofrece, aunque los insectos que se crían con el *Times* de Londres sí llegan a adultos. *The New York Times* se imprime en papel compuesto de pulpa de madera de abeto balsámico. Este árbol produce una sustancia química que imita las hormonas de los insectos herbívoros y que lo protege atrofiando y castrando a sus enemigos. El *Times* de Londres está hecho de árboles que carecen de defensas hormonales, lo que permite que los restos pulposos y aplanados se utilicen como cama para los insectos de laboratorio.

Ahora podemos darle la vuelta a la cuestión y preguntarnos no cómo sobreviven las plantas a los asaltos de los herbívoros, sino cómo toleran los herbívoros las plantas nocivas. El enigma ya no es

que el mundo sea verde, sino que la vegetación tenga agujeros hechos por animales que no se mueren después de la cena. Las tácticas defensivas anti-toxinas explican que los herbívoros puedan comer plantas venenosas, pero los insectos también intentan saltarse las defensas alimentándose de las partes de las plantas que son más capaces de digerir. No es ninguna coincidencia que la oruga verde del mandala se alimente de hojas de arce jóvenes. Los arces, como muchas especies de árboles, defienden sus hojas con taninos amargos. Los taninos solo son disuasorios en concentraciones altas, de modo que las hojas jóvenes todavía no han acumulado una cantidad suficiente de esas sustancias químicas para volverse nocivas. Si la misma oruga hubiera nacido en agosto, se enfrentaría a un bosque empapado de tanino. La aparición de muchos herbívoros en primavera les permite sortear las defensas de las plantas.

En el mandala, la esgrima bioquímica entre las plantas y los herbívoros ha quedado en unas tablas muy disputadas. De momento ningún bando ha derrotado al otro. Los agujeros e incisiones de las hojas del mandala son las marcas del asalto de este año, parte del duelo venerable del que surgen las características fundamentales del mandala.

25 DE MAYO

ONDULACIONES

Unas damas hambrientas bailan en el aire, bajan en picado hacia mis brazos y cara, y después aterrizan y tantean. Han volado contra el viento, entusiasmadas por mi fragante promesa mamífera. Sin duda la desnudez de mi piel todavía las estimula más; no se encontrarán con una densa mata de pelo que oculte su cena. ¡Qué comida tan fácil!

Uno de los mosquitos hembra aterriza en el dorso de mi mano y dejo que tantee la piel. Es de un color marrón desvaído, un poco peludo, con dibujos festoneados en el abdomen. Las patas curvas y delgadas sostienen el cuerpo en paralelo a mi piel. Por debajo de la cabeza le asoma una aguja. Mueve lentamente esa lanza por la piel como si buscara un lugar adecuado. Para, se mantiene firme y entonces noto un escozor cuando la cabeza baja entre las patas delanteras y se introduce la aguja. El ardor continúa mientras penetra, introduciéndose varios milímetros. La vaina que envolvía la aguja se ha doblado entre las patas, y deja una mínima longitud de tubo fino a la vista entre su cabeza y mi piel. La aguja parece sencilla, pero es un haz de varias herramientas. Dos estiletes afilados cortan la piel y abren el camino a los conductos salivales y al canal digestivo parecido a una pajita. Los tubos salivales rezuman sustancias químicas que impiden que la sangre se coagule. Esas mismas sustancias químicas provocan la reacción alérgica a la que llamamos picadura de mosquito.

La aguja es flexible, de modo que se dobla después de introducirse en la piel y, como un gusano que busca un pedazo de tierra blanda, sondea ahí dentro, husmeando un vaso sanguíneo. Los

capilares son demasiado pequeños, así que el mosquito busca un vaso más grande, una vénula o arteriola, las autovías de nuestro sistema circulatorio. Las venas y las arterias, las autopistas, no le interesan porque son demasiado duras. Cuando la aguja encuentra lo que busca, la punta afilada pincha la pared del vaso. El flujo de sangre sobre la aguja estimula las terminaciones nerviosas, que envían la señal de empezar a extraer a las bombas de la cabeza del insecto. Si el mosquito no consigue localizar un vaso adecuado, o bien se retirará y lo volverá a intentar o se alimentará del pequeño charco de sangre que la aguja ha provocado al desgarrar los capilares de la piel. Este método de alimentación a partir de los charcos es mucho más lento, de modo que la mayoría de mosquitos que no consiguen dar con un vaso de buen tamaño prefiere retirarse y volverlo a intentar, en busca de una buena veta en otro lugar bajo la piel.

Es evidente que el mosquito que tengo en la mano ha perforado un vaso productivo. En solo unos segundos el vientre marrón claro se hincha y se vuelve de color rubí brillante. Los festones marrones de la espalda que marcan cada segmento del abdomen se separan y parece que el orden del cuerpo se haya dislocado. El mosquito va rotando a medida que se alimenta, quizá bordeando una curva del vaso sanguíneo con la aguja. Cuando el vientre se ensancha hasta una media esfera, levanta de golpe la cabeza y echa a volar en un abrir y cerrar de ojos. Me quedo con un ligero escozor en la mano y dos miligramos menos de sangre.

Para mí esos miligramos son insignificantes, pero han doblado el peso corporal del mosquito, que vuela lenta y pesadamente. Lo primero que hará después del banquete es descansar sobre un tronco de árbol y descargar a través de la orina parte del agua que se ha tragado. La sangre humana es mucho más salada que el cuerpo de un mosquito, de manera que también bombeará sal a la orina, impidiendo así que mi sangre altere su equilibrio fisiológico. En una hora se habrá deshecho de la mitad del agua y la sal de su comida. El mosquito hembra digerirá el resto, los glóbulos, y mis proteínas se convertirán en la yema de una hornada de huevos de

mosquito. También se reservará algunos de mis nutrientes para ella misma, pero la gran mayoría se utilizarán para la producción de huevos. Los millones de picaduras de mosquitos que sufrimos cada año son por tanto los preliminares de la maternidad de los mosquitos. Nuestra sangre es su billete a la fecundidad. Los mosquitos macho y las hembras que no están criando se alimentan como abejas o mariposas, sorbiendo el néctar de las flores o bebiendo el azúcar de la fruta en descomposición. La sangre es una inyección proteínica solo para madres.

Los colores y la pelusa del mosquito lo identifican como miembro del género *Culex*. Eso significa que desovará una pequeña balsa de huevos en la superficie de una laguna, una acequia o un charco de agua estancada. Los *Culex* se crían a menudo en el agua fétida que rodea los asentamientos humanos, de ahí que en inglés se les llame *house mosquitoes*. Las hembras llegan a volar a una distancia de un kilómetro o más desde esas zonas de reproducción en busca de un donante de sangre adecuado. Puede que mi sangre acabe en unos huevos desovados en la laguna que hay medio kilómetro más atrás, o en una alcantarilla o cloaca atascada de la ciudad, a un kilómetro. De los huevos salen larvas acuáticas que viven en suspensión justo debajo de la superficie del agua. Su extremo trasero es un conducto de aire que se adhiere a la película superficial del agua y que les sirve tanto de ancla como de respiradero. Dejan la cabeza dentro del agua turbia y filtran las bacterias y la materia vegetal muerta. Durante su ciclo de vida, los mosquitos explotan por tanto tres de las fuentes de alimento más importantes de las que disponen los animales: la generosidad de los pantanos, el azúcar concentrado del néctar y el festín viscoso de la sangre de los vertebrados. Cada comida los propulsa a la siguiente fase de su vida, lo que da lugar a un impulso casi imparable.

Si yo no hubiera visitado el mandala, el *Culex* probablemente habría encontrado otro donante de sangre para su comida. A pesar de su afición a los asentamientos humanos, los *Culex* suelen alimentarse de sangre de ave. Para los pájaros representa un perjuicio, ya que el *Culex* transmite enfermedades, en particular la

malaria aviar y últimamente el virus del Nilo occidental. La malaria aviar corre por la sangre de aproximadamente un tercio de las aves que sobrevuelan el mandala. Parece que la mayoría de ellas son capaces de seguir con su vida sin que el parásito las debilite de manera sustancial. Pero las infectadas con el virus del Nilo occidental sufren en cambio una mortalidad más alta, quizá porque los pájaros americanos no cuentan con ninguna resistencia a ese virus procedente de África.

Cuando los mosquitos *Culex* no encuentran un cuervo o un carbonero, se alimentan de los seres humanos. Esa flexibilidad en los hábitos alimentarios pone en contacto los parásitos de las aves con la sangre humana. Algunos, como la malaria aviar, mueren en el nuevo entorno. Sin embargo, otros, como ese virus del Nilo occidental, se asientan e infectan al ser humano. Ese salto de la sangre de ave a la sangre humana exige en primer lugar que un mosquito se alimente de un ave infectada y se contagie del virus, que después se multiplica en las glándulas salivales del mosquito. Si más adelante el mosquito se alimenta de una persona, puede que la gota de saliva lleve un invitado no deseado y que el virus del Nilo occidental salte del cuervo al ser humano.

Quizá no debería haber sido tan optimista sobre mi sangría; puede que mi curiosidad haya permitido que otro ser vivo invada mi cuerpo, tal vez incluso que me mate. De todos modos, no puede decirse que esté haciendo equilibrios al borde del precipicio. En toda América del norte, solo cuatro mil personas se infectaron del virus del Nilo occidental el año pasado, cincuenta y seis de ellas en Tennessee. Un quince por ciento de estos casos es mortal, así que el virus resulta aterrador si te contagias pero, en comparación con los demás riesgos a los que nos enfrentamos a diario, no deja de tratarse de un peligro muy menor. El interés periodístico en torno al virus no procede de la magnitud del peligro que realmente representa, sino de la novedad, la selección indiscriminada de víctimas y la incapacidad de predecir si va a convertirse en una amenaza más seria. Por otro lado, el virus es un regalo para los fabricantes de pesticidas, los científicos que viven de la generosidad

del gobierno y los jefes de redacción que buscan desesperadamente noticias sensacionalistas. El miedo y la rentabilidad lo han lanzado a la fama.

Hasta hace poco un peligro mucho más mortífero se cernía sobre el mandala. Otra especie de malaria acechaba en las glándulas salivales de los mosquitos, a la espera no de un ave, sino de un ser humano. En los primeros años del siglo XX la tasa promedio de mortalidad por malaria en la población del sur de los Estados Unidos era aproximadamente de un uno por ciento al año. En las ciénagas de Misisipi la tasa era del tres por ciento; en estas colinas de Tennessee era más baja pero no dejaba de ser importante. El terrible peso de la malaria oprimía a la gente en todo el este de Estados Unidos, pero los programas de erradicación la eliminaron del nordeste en el siglo XIX, décadas antes de que el sur quedara limpio. El fin de la malaria en el sur llegó a principios del siglo XX, después de una campaña que incidió sobre muchas fases del ciclo de vida del parásito. Se distribuyeron grandes cantidades de quinina para tratar a los infectados y prevenir la reinfección de los mosquitos. Se promovió o exigió la colocación de mosquiteros en ventanas y puertas, lo que rompió el vínculo entre la saliva del mosquito y la sangre humana. Los pantanos y las lagunas se drenaron para eliminar los lugares de cría, se les echó aceite para ahogar las larvas que crecían en su interior, o se los envenenó con insecticidas. Aunque los huéspedes de la malaria, los mosquitos y los seres humanos, todavía vivían por todo el sur, la distancia entre ellos se amplió tanto como para que el parásito se extinguiera.

Aparentemente, la malaria no influye en absoluto sobre cómo vivo el mandala en la actualidad, pero se trata de una ilusión. El mandala se salvó de la motosierra porque se encuentra en un área reservada por la University of the South. Esta universidad también me trajo aquí. ¿Qué trajo a la universidad a esta ladera? Entre otras cosas, la malaria. Como muchas universidades antiguas del este, la mía está situada en una meseta, lejos de los pantanos que crían malaria y fiebre amarilla. El tiempo fresco y la relativa ausencia de mosquitos de las colinas de Tennessee hacían de ellas un lugar ideal

para enviar a la descendencia de la pequeña nobleza del sur. El curso académico incluía el verano, lo que permitía que los estudiantes escaparan del calor y el ambiente enfermizo de las ciudades. En invierno, cuando los mosquitos de Atlanta, Nueva Orleans y Birmingham estaban de baja, la universidad quedaba cerrada y abandonada. Ese emplazamiento privilegiado ayudó a consolidar el centro y garantizó su viabilidad mucho tiempo después de que uno de sus principales benefactores, el parásito de la malaria, desapareciera de la zona.

Los átomos que componen mi sangre llegaron al mandala debido a esas fuerzas biológicas de la historia, y está bien que un mosquito se lleve algunos para colocarlos en una balsa de huevos. Esa conexión física con el resto de la naturaleza pasa a menudo inadvertida. La picadura de un mosquito, la respiración, el bocado son actos que conforman una comunidad, que nos mantienen unidos a la existencia, pero que en su mayor parte pasamos por alto. Unas pocas personas bendicen la mesa, pero nadie lo hace cada vez que inhala aire o le pica un mosquito. Esa inconsciencia es en parte una estrategia de defensa. Las conexiones a través de los millones de moléculas que comemos, respiramos o perdemos a favor de los mosquitos son demasiadas y demasiado variopintas y complejas para que intentemos comprenderlas.

Los recordatorios quejumbrosos de la interconectividad todavía me persiguen cuando me siento en el mandala, así que me subo la capucha de la sudadera, guardo las manos en las mangas e intento ralentizar el aluvión de pensamientos. Miro por encima del borde de mi capa protectora y estudio los indicios de otro tipo de flujo atómico. En la roca de al lado hay un caracol aplastado. Se ven algunas migajas translúcidas del caparazón de color miel esparcidas por la superficie de la roca. Son los restos del banquete de un ave hambrienta de calcio.

El caracol machacado del mandala es una corriente entre muchas del gran flujo primaveral de calcio de la tierra hacia el aire. Las aves hembra que están criando recorren el bosque buscándolos, ávidas

de las capas de carbonato de calcio de la espalda de los gasterópodos. Es un hambre fundamentada. Sin una inyección de calcio en la dieta, las aves no pueden fabricar las cáscaras calcáreas de los huevos.

Cuando un ave se traga un caracol, en primer lugar el caparazón se tritura en la molleja del pájaro, aplastado por un nudo de músculo y granos de arena dura. Después el calcio se disuelve progresivamente en la blandura del intestino y se bombea a través de las paredes al torrente sanguíneo. Si ese día el ave pone huevos, puede que el calcio vaya directamente a los órganos reproductores. Si no, quedará en las zonas especiales de almacenamiento de calcio que hay en el núcleo de los huesos largos de las alas y las patas del ave. Ese "hueso medular" lo producen solo las hembras sexualmente activas. En el curso de unas pocas semanas se construye el hueso medular para preparar la puesta de huevos y se desmonta completamente cuando ya se han puesto. Los pájaros se toman a pecho el deseo de Thoreau de "chupar entero el tuétano de la vida"; cada primavera dejan secos sus propios huesos para crear nueva vida.

El calcio succionado viaja por la sangre hasta el útero. En ese punto el carbonato de calcio abandona la sangre y se añade por capas al huevo. El útero es la última parada del conducto que lleva el huevo de los ovarios de un ave hasta el mundo exterior. Las primeras fases de ese viaje envuelven el embrión de albumen y de dos capas de una membrana dura. La membrana exterior está salpicada de minúsculos granos repletos de proteínas complejas y moléculas de azúcar. Aquellos atraen los cristales de carbonato de calcio del útero y actúan como centros a partir de los cuales los cristales pueden crecer. Igual que las ciudades que crecen descontroladamente, los cristales se superponen unos sobre otros, acaban por unirse y crean un mosaico por toda la superficie del huevo. En algunos lugares los cristales no logran juntarse y dejan en el mosaico un agujero sin tesela que se convertirá en un poro y se extenderá desde esa primera capa de la cáscara del huevo hasta la superficie de la cáscara terminada. La siguiente capa de carbonato

de calcio crece sobre la primera, lo que da lugar a una cáscara hecha de pilares de cristales de calcio bien apretados. Entre esos pilares serpentean fibras de proteína, lo que refuerza la cáscara. Cuando se ha completado la capa más gruesa, el útero coloca un pavimento de cristales planos sobre la superficie de la cáscara y después pinta el pavimento con una última capa protectora de proteína. Así es cómo se desenrosca el caparazón del caracol y se convierte en un capullo aviar.

A medida que el polluelo va creciendo dentro del huevo toma calcio de la cáscara, lo que erosiona poco a poco las paredes de su hogar, y convierte el calcio en hueso. Esos huesos pueden volar a América del sur y depositarse en la tierra de la selva tropical, o el calcio puede volver al mar si una tormenta de otoño mata a las aves migratorias. O los huesos pueden volver volando a estos bosques la próxima primavera y, cuando el ave ponga sus huevos, el calcio puede utilizarse una vez más para una cáscara de huevo cuyos restos pueden alimentar caracoles, devolviendo así el calcio al mandala. Estos viajes zigzaguean entre otras vidas y cohesionan el tejido multidimensional de la vida. Mi sangre puede integrarse al caparazón del caracol a través de un polluelo que se alimenta o al que pica un mosquito de paso, o podemos reunirnos después, dentro de milenios, en el fondo del océano entre las pinzas de un cangrejo o en el intestino de un gusano.

Soplan sobre ese tejido vientos de tecnología humana y lo impulsan hacia direcciones impredecibles. Los átomos de azufre que estaban encerrados en fósiles de plantas que murieron en antiguos pantanos se liberan hoy a la atmósfera cuando quemamos carbón para mantener nuestro modo de vida. El azufre se convierte en ácido sulfúrico, que llueve sobre el mandala y acidifica la tierra. Esa lluvia ácida fosilizada inclina la balanza química contra los caracoles y hace que abunden menos. A las aves madres les es más difícil atiborrarse de calcio y se reproducen menos, o nada. ¿Menos pájaros equivaldrán a menos sangre para los mosquitos o a menos picos depredadores? Los virus como el del Nilo occidental que se desarrollan en aves salvajes pueden verse a su vez afectados por el

cambio en las poblaciones de pájaros. Esa ondulación en el tejido flota por el bosque y quizá encuentre un dobladillo en el que fundirse o quizá flote para siempre, a la deriva entre mosquitos, virus y seres humanos, siempre hacia afuera.

2 DE JUNIO

LA BÚSQUEDA

Una garrapata se posa en la punta de una rama de viburno, a unos centímetros de mi rodilla. Consigo reprimir el impulso de apartarla de un manotazo y me inclino a contemplarla por sí misma, intentando superar la reacción irreflexiva de rechazo ante un bicho. La garrapata nota que me acerco y, de las ocho patas que tiene, levanta las cuatro delanteras con un movimiento frenético, tratando de coger aire. Espero sin moverme y conteniendo la respiración, y la garrapata vuelve a la postura original, solo con el par de patas delanteras alzadas en un saludo al cielo como de profeta. Tengo los ojos tan cerca que veo diminutos adornos festoneados en los bordes del cuerpo ovalado y coriáceo. Rematan las patas levantadas unos pies translúcidos, que captan el sol y resplandecen. En medio de la espalda hay una mancha blanca que permite identificarla como una hembra adulta de *Amblyomma americanum*. El color de castaña del resto del cuerpo parece extenderse a la mancha, lo que le da un brillo dorado.

Las armas feas y sin adornos de la cabeza de la garrapata contrastan con la extraña belleza del resto del cuerpo. La cabeza es sorprendentemente pequeña y con la ayuda de la lupa veo dos gruesos pilares que sobresalen y apenas cubren una auténtica navaja del ejército suizo formada por piezas bucales afiladas y grotescas. Quiero ver más de cerca ese horror, así que levanto el brazo, agarro el viburno y tiro de la rama hacia la lupa. La garrapata nota mi mano y empieza a lanzar mordiscos hacia ella entre gesticulaciones desenfrenadas de las patas delanteras. Esa repentina

catapulta me sobresalta y hace que retire la mano y suelte la rama, para profunda decepción de la garrapata.

Esta garrapata del mandala tan aficionada a mover las patas se dedica a lo que los zoólogos llaman comportamiento de búsqueda. La etiqueta otorga a los animales una cierta nobleza artúrica y atenúa la repugnancia que nos producen sus costumbres hematófagas. La imagen de la búsqueda es especialmente adecuada porque tanto los caballeros de la Mesa Redonda como los arácnidos del Bosque Espeso persiguen el mismo objetivo: un grial lleno de sangre. En el caso del *Amblyomma americanum*, el grial es un animal de sangre caliente, ya sea un ave o un mamífero.

La búsqueda mítica de los caballeros les condujo a la sangre de las heridas de Cristo, recogidas en el grial por José de Arimatea. Las garrapatas no son tan exigentes con el pedigrí de la sangre que buscan, y su demanda termina en muda o en sexo. La búsqueda de las garrapatas también difiere de manera sustancial de los viajes de los caballeros en el método escogido. La mayor parte de garrapatas esperan sentadas a que venga el grial y le tienden una emboscada en lugar de caminar por varios continentes para dar caza al banquete de sangre. La garrapata del mandala ha enfocado la búsqueda de la forma clásica: trepe a un arbusto o a una brizna de hierba, colóquese en la punta, y entonces tienda sus extremidades anteriores y espere que su víctima le roce.

A las garrapatas les facilitan la búsqueda los órganos de Haller de las patas delanteras. Esas hendiduras con púas están cargadas de sensores y nervios, capaces de detectar una ráfaga de dióxido de carbono, una bocanada de sudor, una mínima emisión de calor o la vibración sorda de los pasos. Las patas delanteras levantadas funcionan por lo tanto a la vez como radares y pinzas. Ningún ave o mamífero puede pasar junto a una garrapata sin ser detectado por el olor, el tacto o la temperatura. Cuando tiré hacia mí la rama de viburno y le soplé a la garrapata, hice que se contrajeran espasmódicamente sus órganos de Haller y desencadené la arremetida de la garrapata contra mi dedo.

Durante la búsqueda, la deshidratación es el mayor enemigo de las garrapatas. Pueden plantarse en lugares expuestos durante días e incluso semanas a la espera de sus huéspedes. El viento ahuyenta la humedad y el sol cuece sus pequeños cuerpos coriáceos. Alejarse a buscar bebida interrumpiría la búsqueda y en muchos hábitats no hay agua. Las garrapatas han desarrollado, pues, la capacidad de beber del aire. Segregan una saliva especial en una ranura junto a la boca y, como el gel de sílice que utilizamos para secar los aparatos electrónicos, su saliva obtiene agua del aire. Las garrapatas tragan entonces saliva, se rehidratan y siguen con la búsqueda.

La búsqueda se termina cuando las patas delanteras quedan sujetas a la piel, plumaje o pelo de un posible huésped. La afortunada garrapata se desplaza entonces por el huésped, tanteando la piel con las piezas bucales en busca de un lugar blando y abundante en sangre que atacar. Como los ladrones silenciosos, se abren paso por nuestros cuerpos sin que salten las alarmas. Coja un lápiz y páseselo ligeramente por el brazo o la pierna. Lo notará. Coja una garrapata y deje que se pasee por sus miembros. Es más que probable que no note nada. Nadie sabe cómo lo consiguen, pero sospecho que encantan nuestras terminaciones nerviosas y doman las neuronas como si fueran cobras con la música hipnotizante de sus pasos. La mejor forma de detectar una garrapata que le sube a uno por la pierna es notar una sospechosa ausencia de cosquilleo o picor. Caminar por el bosque en verano genera una corriente interminable de sabandijas que se le aventuran a uno por la piel. Cuando la corriente de sensaciones se estanca, mire si tiene una garrapata.

A diferencia de los mosquitos, las garrapatas se toman su tiempo a la hora de alimentarse. Aprietan las piezas bucales contra la piel y se abren camino serrando lentamente hasta la carne. Cuando esa incisión poco elegante ha abierto en la piel un agujero del tamaño suficiente, bajan un conducto punzante, el hipostoma, para extraer sangre. Obtener una comida completa lleva días, así que las garrapatas se cementan en la piel para impedir que el huésped se las quite de encima. El cemento es más fuerte que los propios

músculos de la garrapata, razón por la que quemarlas con cerillas es inútil. Las garrapatas no pueden huir a toda prisa, aunque tengan el trasero en llamas. Las *Amblyomma americanum* se alimentan a mayor profundidad que otras especies, por lo que es particularmente difícil quitárselas de encima.

El festín de sangre hace que las garrapatas se hinchen tanto que les crece una piel nueva para dar cabida al banquete. Beben tanta sangre que se enfrentan al problema contrario a la deshidratación de sus días de búsqueda. En lugar de ir terminando cuando están llenas, las garrapatas extraen agua de la sangre de sus intestinos y la escupen de vuelta al huésped, un gesto que desde luego viola el espíritu, si no la letra, de las leyes de caballería, especialmente cuando la garrapata es portadora de una de las muchas bacterias que provocan enfermedades. La media cucharadita de sangre de una garrapata completamente hinchada es por tanto el resultado de destilar varias cucharaditas de sangre del huésped, espesada y almacenada en la barriga del bicho.

Una hembra de garrapata adulta aumenta su peso corporal cien veces cuando se alimenta, y después llama a sus pretendientes para que la acompañen junto al huésped. Libera feromonas agarrada todavía allí, y esas sustancias químicas transportadas por el aire dan lugar a una lucha de machos por su voluptuosidad. Cuando llega un macho, la hembra libera más feromonas, y el macho se coloca debajo de ella, que está inmóvil e hinchadísima. Emplea las piezas bucales para insertar un pequeño paquete de esperma en una grieta de la coraza de la hembra y después deja que ella se acabe su comida. Cuando está completamente saciada, la hembra disuelve el cemento que tiene alrededor de la boca y se dirige, o se tira, al suelo. Ahí digiere lentamente la sangre y rellena miles de huevos con yemas nutritivas. Como el mosquito, la garrapata madre utiliza la sangre para llevar a buen puerto la reproducción. Cuando los huevos están listos, los desova por grupos en el suelo del bosque. La búsqueda se ha terminado, la sangre del grial se ha transustanciado en el Cuerpo del Huevo de Garrapata, y ella muere vacía pero realizada.

Una semana más tarde, las temidas crías de garrapata salen de los huevos. Las larvas, que tienen el aspecto de sus padres, también se comportan como versiones en miniatura de los adultos cuando trepan por la vegetación en torno al lugar de la eclosión para empezar la búsqueda. Como salen de los huevos en grupos, atacan a los huéspedes en masa y multiplican nuestro sufrimiento. Solo una de cada diez de esas larvas consigue encontrar un huésped. La mayoría se muere de hambre o se seca antes de que pase por delante un animal adecuado. Las larvas de *Amblyomma americanum* atacan aves, reptiles y mamíferos a excepción de los roedores, a los que parecen evitar. Las larvas de otras especies de garrapatas invierten esa preferencia y dan caza a ratones y ratas para su primera comida. Las larvas que encuentran huésped se alimentan de la misma forma que los adultos, después se dejan caer y mudan a una forma ligeramente más grande llamada ninfa. Las ninfas se dedican a la búsqueda, se alimentan y después mudan en adultos. Por lo tanto, la garrapata adulta del mandala ya ha completado con éxito dos búsquedas. Puede que tenga dos o tres años y que haya pasado un invierno como larva y otro como ninfa.

Siento la tentación de repetir el experimento del mosquito y recompensar la longevidad de la garrapata ofreciéndole algo de sangre. Dejo pasar la oportunidad por dos razones. En primer lugar, mi sistema inmunológico reacciona violentamente a las picaduras de garrapatas: me arden y, si tengo bastantes, padezco insomnio. En segundo lugar, a diferencia de lo que ocurría con el mosquito, hay una probabilidad respetable de que la garrapata sea portadora de alguna enfermedad grave. La dolencia más famosa transmitida por garrapatas, la enfermedad de Lyme, es bastante poco común aquí y rara vez la transmiten las *Amblyomma americanum*. Sin embargo, las *Amblyomma americanum* son las principales transmisoras de otras afecciones, entre ellas la erliquiosis y la misteriosa "enfermedad eruptiva del sur ligada a las garrapatas". Estas últimas bacterias todavía tienen que propagarse fuera del cuerpo humano, así que sabemos muy poco de ellas, excepto que provocan una enfermedad parecida a la de Lyme. La fiebre de las Montañas

Rocosas y la babesiosis, semejante a la malaria, también pueden acechar en el interior de la *Amblyomma americanum*. Ese bestiario de patógenos no es precisamente un incentivo para ofrecerme a la garrapata.

A pesar de la nobleza de la búsqueda de la garrapata y de mi admiración por su coraza y sus armas, siento una imperiosa necesidad de apartarla de un manotazo o de pellizcarla con las uñas. Esa repugnancia puede que venga de algo más profundo que la simple precaución aprendida. El miedo a las garrapatas está inscrito en mi sistema nervioso a través de la experiencia de muchas, muchísimas vidas. Nuestra batalla con las garrapatas buscadoras es como mínimo sesenta mil veces más antigua que las leyendas artúricas. Nos hemos rascado y pellizcado las garrapatas a lo largo de toda nuestra historia de *Homo sapiens*, desde nuestros primeros días como primates cuando parloteábamos y nos acicalábamos los unos a los otros hasta el tiempo en que sentimos el picor como insectívoros y, más atrás, hasta nuestros orígenes de reptiles cuando aparecieron las garrapatas hace noventa millones de años. El grial se cansa después de tantos millones de años de búsqueda. Al irme, doy un rodeo para no tocar el arbusto de viburno.

10 DE JUNIO

HELECHOS

Estamos en el apogeo del verano. En las dos últimas semanas, la temperatura y la humedad han ido subiendo día a día, y el calor me obliga a ir más lento en mi paseo hasta el mandala; ya no es tiempo para las caminatas enérgicas que en invierno hacían entrar en calor. La abundancia de vida animal en el bosque es impresionante, especialmente si se compara con la tranquilidad invernal. El canto de los pájaros se oye por doquier. El aire está lleno de jejenes, mosquitos, avispas y abejas yendo de aquí para allá. Las hormigas andan por la hojarasca y siempre pueden verse varias docenas dentro del círculo del mandala. También recorren el suelo del bosque arañas saltarinas y peludas, y los milpiés avanzan lentamente por los huecos de la hojarasca. Arriba el dosel arbóreo se ve denso, compuesto por varias capas. Las hojas han madurado, del verde claro y ligero de la primavera a los colores más intensos y sustanciales del verano. La fotosíntesis en este grueso dosel de hojas funciona a pleno rendimiento y capta la energía que conforma la base del ecosistema forestal.

A ras del suelo, las flores silvestres efímeras de primavera se han eclipsado en su mayor parte. Las plantas que quedan son especialistas de la sombra y crecen lentamente en el sotobosque oscuro. Entre estas especies, los helechos son los más abundantes y llamativos. Si paseo la mirada por el suelo del bosque, veo helechos más o menos a cada metro en toda la ladera de la montaña.

Algunas frondas de helecho zacatón largas como mi antebrazo se arquean cual vistosas plumas de sombrero en el extremo sur del mandala. Los brotes frescos descuellan por encima de las frondas

del año pasado que, aunque todavía están pegadas a la base del helecho, yacen postradas y moribundas. Las frondas viejas siguieron verdes en invierno y primavera, lo que le dio un impulso fotosintético a la planta antes de que salieran los brotes nuevos de este año. La resistencia del helecho zacatón brindó a los colonos europeos follaje con el que decorar las celebraciones de invierno, y el nombre del helecho zacatón en inglés, *Christmas fern*, rinde honores a ese origen. En el mandala los nuevos brotes de estas plantas salen en abril, abriéndose camino a través de la hojarasca en forma de frondas plateadas y compactamente enrolladas que se conocen como cabezas de violines. Cuando las espirales se despliegan, sus pecíolos centrales se alargan y crecen folíolos, lo que da lugar a plumas elegantes y afiladas.

Los folíolos de las puntas de las frondas más altas están enjutos y encogidos. En lugar de presentar al sol una superficie ancha para la fotosíntesis, estos folíolos disminuidos llevan dos hileras de discos en el reverso, con la anchura de un grano de pimienta. Como un casco apretado contra una cabellera rizada, esos discos tienen una masa de pelusa marrón que sobresale de los bordes. Si miro con la lupa, la masa de rizos se transforma en una alfombra de serpientes oscuras, cada una dividida en segmentos de color arenoso con bordes anchos color caoba. Las bocas de las serpientes sujetan racimos espesos de globos dorados. Hoy no detecto ningún movimiento, pero en otras ocasiones he visto como las serpientes se yerguen y después vuelven de golpe a su posición original, no sin antes escupir los globos hacia arriba.

Los globos son las esporas del helecho y cada uno encierra en su dura capa todos los ingredientes de un nuevo helecho. Las serpientes son catapultas botánicas, diseñadas para lanzar las esporas hacia el cielo. Los segmentos de las serpientes son células con paredes de distinto grosor, y esa desigualdad favorece el movimiento. En días soleados, el agua que cubre las células se evapora, lo que aumenta la tensión superficial del agua restante. Debido a lo pequeñas que son las células, la tensión superficial se intensifica tanto como para doblarlas y eso arquea hacia arriba a la

serpiente, que entonces recoge una masa de esporas y se prepara para lanzarlas. Se evapora más agua y la tensión aumenta, lo que todavía dobla más a la serpiente. ¡Crac! La tensión se rompe y la energía acumulada en las paredes de las células arroja las esporas. Cuando el sol da directamente en una fronda madura, el agua se evapora rápidamente de las células de la serpiente, lo que hace que las esporas salten como palomitas de maíz en aceite caliente. A simple vista esas esporas que huyen parecen bocanadas de humo. Con una lupa, la cosa se vuelve más espectacular: la descarga de las catapultas parece la recreación de una batalla.

La dependencia de las catapultas respecto al poder secante del sol solo permite que los helechos lancen esporas en días secos, cuando tienen una probabilidad alta de llegar lejos. Hoy el ambiente está cargado de humedad, oscurece con tonos grises y a lo lejos braman los truenos. No es un momento propicio para que las esporas viajen; se arriesgan a desaparecer en el aire, así que las catapultas descansan.

Igual que el óvulo o el espermatozoide de un animal, cada espora lleva una baraja mezclada de exactamente la mitad de los genes de sus padres. Sin embargo, a diferencia de un óvulo o del esperma, la espora aterriza y después germina sin unirse con otra espora. Ese es el primer indicio de que el ciclo vital de las plantas es radicalmente distinto del nuestro. El sexo en los animales sigue dos pasos: fabrique las células sexuales mediante la división de su biblioteca genética y después fusione el óvulo y el esperma en un nuevo animal. Solo dos pasos, una simple rotación. En cambio, los helechos se dedican a algo extraño. No sale una fronda cuando la espora germina, sino que crece un pequeño "nenúfar" que va extendiendo el cuerpo plano hasta que alcanza el tamaño de una moneda pequeña.

El helecho nenúfar produce su propio alimento y vive como un individuo aparte. Después de algunos meses o años, le aparecen hinchazones en la piel, unas como ampollas, otras como minúsculas chimeneas. Estas ampollas se hinchan hasta que estallan en un día lluvioso y liberan espermatozoides, que van girando por el agua

superficial y husmean las sustancias químicas de un óvulo situado en la base de una chimenea. El corazón de cada chimenea está lleno de sustancias químicas que se unen a los espermatozoides de otras especies y los destruyen. El esperma adecuado no se enfrenta a tal obstáculo: nada hasta el óvulo y las dos células se fusionan. Del embrión resultante se desarrollará un nuevo helecho zacatón que llegará a crecer lo suficiente como para lanzar esporas desde la punta de las frondas arqueadas. El ciclo vital del helecho consta por lo tanto de cuatro pasos: espora, nenúfar, óvulo o esperma, y helecho tal como lo conocemos.

Al otro lado del mandala, un helecho serpiente de cascabel añade algunas variaciones interesantes a ese ciclo vital. Las hojas se extienden a poca altura de la hojarasca en forma de abanico de encaje de un palmo de ancho. En medio de este abanico se yergue una espiga el doble de alta que las hojas. En la punta de la espiga, varias docenas de cápsulas de un milímetro de ancho se apiñan en pequeñas ramas laterales y desde allí sacuden las esporas que guardan dentro de hendiduras verticales en los lados. Después de germinar, de las esporas no crecen nenúfares, sino unos tubérculos subterráneos, como patatas en miniatura, que no tienen clorofila y dependen de un hongo para conseguir alimento. Después de varios años de crecimiento, el tubérculo fabrica esperma y óvulos, que producirán a su vez otro helecho serpiente de cascabel.

Una vez crecido, el helecho serpiente de cascabel adulto sigue intercambiando nutrientes con el hongo. Algunos llevan esa relación de dependencia mutua al extremo y nunca levantan las esporas por encima de la hojarasca: crecen y fabrican esporas completamente bajo tierra gracias a la colaboración de los hongos.

Ambas especies de helechos del mandala alternan entre dos formas de vida: la gran planta portadora de esporas y una fábrica de óvulos y esperma más pequeña, el nenúfar o el tubérculo. Nos cuesta entender esa alternancia entre distintas identidades, y la vida sexual de los helechos estuvo envuelta en misterio hasta la década de 1850. Las estructuras reproductoras obvias, las esporas dispersadas por el viento igual que el polen o las semillas, eran

distintas de cualquier otra célula sexual. Los botánicos llamaban a los helechos y a sus parientes igualmente difíciles de entender, los musgos, criptógamas o plantas de "sexo oculto", aplicando así una tirita terminológica al molesto misterio. La confusión se aclaró al descubrirse que en las superficies acuosas de los diminutos nenúfares nadaban espermatozoides y óvulos.

Los métodos reproductivos del helecho encajan muy bien con la vida en lugares húmedos y protegidos, pero no tanto con las condiciones más secas y rigurosas. Sin humedad en la que pueda nadar su esperma, los helechos son incapaces de reproducirse. Además, la fase de nenúfares ofrece poca protección o alimento a los embriones. Las plantas de floración se liberaron de esas limitaciones modificando el ciclo vital del helecho. En lugar de arrojar las esporas al viento, las plantas de floración producen esporas que se guardan en los tejidos de la flor y de ellas crecen nenúfares en miniatura protegidos que después fabrican óvulos y esperma. Así, el nenúfar independiente del helecho se redujo a unas pocas células ocultas dentro de la flor. Eso liberó a las plantas de floración de la necesidad de encontrar un rincón acuoso en el que reproducirse. Los desiertos, las cimas rocosas y las laderas secas dejaron de ser barreras para el sexo entre plantas, así como los periodos secos o los días soleados. Reducir y retener el nenúfar también permitió a las flores nutrir a su descendencia, haciéndole llegar alimento, envolviéndola en cubiertas de semilla protectoras y manteniéndola en lo alto de los frutos para que recibiera el impacto del viento o la recogiera un ave dispersora de semillas.

Las innovaciones reproductivas de las plantas de floración les permitieron convertirse de lejos en el grupo de plantas más variado de la actualidad. Hay más de un cuarto de millón de especies de plantas de floración y en cambio solo más de diez mil especies de helechos. Cuando aparecieron las plantas de floración, hace cien millones de años, muchas especies de antiguos helechos y otras plantas que no florecían se vieron desplazadas, vencidas por los recién llegados. Sería un error, sin embargo, tachar los helechos actuales de restos primitivos. Algunos estudios recientes del ADN

muestran que los helechos modernos se desarrollaron y diversificaron *después* del ascenso de las plantas de floración. Cuando estas tomaron el relevo, provocaron la desaparición de antiguos helechos, pero también produjeron las condiciones ideales para una nueva estirpe: mandalas húmedos en los que los helechos zacatones y serpiente de cascabel crecen a placer.

20 DE JUNIO

UNA MARAÑA

Las rachas de viento despejan el cielo de las nubes que han dado llovizna toda la semana. Por primera vez en días el sol penetra a través de los pequeños huecos en el dosel arbóreo y cuadricula el mandala entre pedazos de luz y de sombra. Las superficies resbaladizas de las hojas de hepática brillan cuando el sol cae sobre ellas. Otras especies de plantas carecen del destello de la hepática, pero resplandecen con varios tonos de verde. Después de tantos días bajo un cielo gris, los colores del mandala parecen especialmente vivos. También se oye más vida en el bosque. Me llega de todas partes un zumbido suave, el sonido combinado de miles de alas de insectos, parecido al de una lejana colmena.

Aunque es media mañana y hace horas que el sol ha salido, dos caracoles yacen expuestos encima de la hojarasca húmeda. Probablemente estén aquí desde antes del amanecer, enroscados en la maraña del apareamiento. Los caparazones color carey están el uno enfrente del otro, abertura contra abertura, y los cuerpos se funden en un nudo de carne gris y blanca. Estos caracoles están atrapados en una negociación y un intercambio difíciles. En lugar de trasladar esperma del macho a la hembra como hace la mayoría de animales, los caracoles desplazan el esperma en ambas direcciones. Cada individuo es tanto donante como receptor de esperma, lo masculino y lo femenino se unen en un solo cuerpo.

El hermafroditismo genera un problema económico complejo: cómo asegurarse de que el intercambio reproductor dentro de la pareja es equitativo. A los caracoles, como a la mayoría de los organismos, les resulta barato producir esperma y caro producir

óvulos. En animales unisexuales esa diferencia de coste favorece en general la selectividad por parte de las hembras y la promiscuidad no selectiva por parte de los machos, especialmente en especies en las que los machos no ayudan en la cría. En los hermafroditas, en cambio, la selección y la promiscuidad se juntan en un solo cuerpo, y el apareamiento es más complejo, ya que cada individuo procura recibir esperma a la vez que intenta inseminar a su pareja.

Los caracoles que detectan algún indicio de enfermedad en sus parejas no expresan su lado femenino y dan esperma sin recibirlo. En cambio, los caracoles que se encuentran con parejas libres de gérmenes aceptan esperma de ellos. Puede que esa selectividad ayude a los caracoles a escoger un esperma genéticamente superior para su provisión limitada de óvulos. Los hermafroditas también son sensibles al contexto social general. Si viven en una zona con pocas parejas potenciales, expresan tanto su lado masculino como el femenino, mientras que en una situación de más densidad de población se les atenúa la feminidad y actúan más bien como machos, regalando su esperma pero reservando los óvulos para las mejores parejas. La situación es todavía más compleja si las parejas ya se han reproducido y han aceptado esperma de otro individuo. En ese caso es posible que una pareja rechace a otra y que el caracol rechazado intente emparejarse por la fuerza introduciendo paquetes de esperma en la pareja mal dispuesta. Los triángulos amorosos son tensos; los hexágonos amorosos son zonas de guerra.

Hablar de guerra no es una metáfora. En algunas especies, las tensiones de emparejamiento de los caracoles han escalado a conflicto armado: de un individuo al otro vuelan dardos óseos, la masculinidad no deseada se neutraliza con glándulas espermicidas y los músculos empujan el esperma y los óvulos hasta las líneas de combate. Incluso puede que la duración del abrazo de los caracoles sea consecuencia de la conflictividad sexual. Los caracoles se palpan los unos a los otros con los tentáculos, dan vueltas, se colocan lentamente en la posición adecuada y siempre están listos para retirarse o realinearse. Desconocemos lo que evalúan en cada fase, pero sus extensos cortejo y cópula están coreografiados con

cautelas dignas de la diplomacia, como un congreso prenupcial sobre las condiciones de la unión. Seguro que tanta languidez tiene un coste. Los caracoles del mandala han estado echados con el cuerpo desprotegido en su mayor parte durante más de media hora, lo que los convierte en una presa fácil para los pájaros y otros depredadores.

El hermafroditismo es un sistema sexual poco común entre los animales, la mayoría de los cuales separa las funciones masculina y femenina en distintos cuerpos. Sin embargo, todos los caracoles terrestres son hermafroditas, igual que algunos moluscos marinos y unos cuantos invertebrados. La sexualidad de los caracoles del mandala tiene más en común con las flores de primavera que con las aves o las abejas. Todas las efímeras primaverales y todos los árboles del mandala son hermafroditas, y muchos combinan lo masculino y lo femenino en una sola flor. Esta variedad de sistemas sexuales es desconcertante. ¿Por qué hay chochines macho y hembra, y en cambio los árboles en los que viven los chochines son macho-hembra? Los escarabajos que los chochines dan de comer a sus crías son machos o hembras, pero los caracoles que pueden venir en el mismo bocado son todos hermafroditas.

Los teóricos de la evolución han tratado este enigma como un problema de economía natural. Igual que un gerente decide cuál es la mejor forma de invertir los recursos de la empresa, los biólogos entienden la selección natural como un proceso que decide cómo invierten los organismos su energía reproductiva. El gerente humano utiliza la previsión y la razón, mientras que la selección natural funciona lanzando continuamente nuevas ideas y descartando las ineficaces en favor de las fecundas. La naturaleza no anda corta de nuevas ideas sexuales: en cada generación de caracoles hay unos pocos individuos unisexuales, del mismo modo que un pequeño número de aves, insectos y mamíferos nace hermafrodita. Hay por tanto mucha materia prima con la que estimular el libre mercado de roles sexuales de la naturaleza.

Cada individuo puede dedicar una cantidad limitada de energía, tiempo y carne a reproducirse. Los organismos pueden actuar como

empresas especializadas e invertir sus recursos en un solo sexo, o pueden diversificar y dividir la inversión en dos operaciones, una masculina y otra femenina. Será mejor una u otra estrategia según las particularidades de la ecología de cada especie. En situaciones en las que los individuos se enfrentan a una probabilidad alta de no encontrar pareja, sale a cuenta ser hermafrodita. Las tenias que viven solas en el intestino tienen que autofecundarse o su linaje genético se vería condenado a desaparecer. De forma menos obvia, las flores que utilizan polinizadores poco fiables para conseguir la unión sexual también puede que necesiten autofecundarse. Las plantas de hepática florecen en abundancia por todo el mandala, pero si en primavera el tiempo es demasiado frío y los insectos polinizadores no pueden volar, ser hermafrodita es la única manera de reproducirse. Lo mismo vale para las especies de mala hierba que colonizan tierras perturbadas. Los individuos de estas especies pueden encontrarse siendo el único inmigrante en un nuevo pedazo de hábitat, así que el amor a sí mismo es esencial. El hermafroditismo es por tanto el sistema sexual preferido de las especies que podrían tener que reproducirse sin aparearse.

Sin embargo, muchos hermafroditas, entre ellos la mayoría de caracoles, no llevan vidas aisladas y no pueden autofecundarse aunque se los someta a confinamiento solitario. La soledad no es por tanto la única causa de hermafroditismo. La evolución también lo ha favorecido cuando un enfoque generalista de la sexualidad era el más provechoso. Los caracoles ni defienden territorios de reproducción ni cantan ni exhiben colorido. Tampoco cuidan de los huevos; los desovan en hoyos superficiales de la hojarasca y los abandonan. Esas obligaciones reproductivas relativamente sencillas permiten que los caracoles sean simultáneamente macho y hembra sin sacrificar la eficacia de cada sexo, lo que no es posible en especies con roles sexuales más especializados como los pájaros y los mamíferos. En dichos casos, la selección natural tiende a centrarse en la masculinidad o la feminidad. En términos económicos, a un caracol le rinde más una estrategia de inversión

mixta que combine lo masculino y lo femenino, mientras que a un ave le rinde más dirigir toda su inversión a un solo sexo.

El variado contexto ecológico y fisiológico de cada especie del mandala ha dado lugar, a través de años de selección natural, a una gran variedad de soluciones sexuales. El abrazo hermafrodita de los caracoles, aparentemente tan ajeno a la mayoría de los seres humanos, nos recuerda que en la naturaleza la sexualidad es más maleable y diversa de lo que podríamos suponer de entrada.

2 DE JULIO

HONGOS

Durante dos días y dos noches ha llovido a cántaros sobre el mandala. La tormenta vino del golfo de México, y la lluvia incesante ha despejado el aire de insectos, lo que ha supuesto un respiro de las hordas de mosquitos que me acompañaron con entusiasmo durante semanas. Y enseguida, tras la tormenta, han llegado los días más calurosos del verano. La humedad febril del aire tiene ahora una cualidad implacable y omnímoda; con cualquier esfuerzo físico asoma un brillo de sudor. El bosque está atrapado en un abrazo tropical y pegajoso.

En el suelo forestal empapado brillan motas naranjas, rojas y amarillas, los brotes sexuales de los hongos. El calor y la lluvia han envalentonado las partes de los hongos que están bajo tierra y han hecho brotar los cuerpos fructíferos. El más bonito de los vistosos hongos de esta mañana es un *Pezizaceae* encaramado a una ramita podrida. De color naranja mandarina, con forma de copa y bordeado de pelos plateados, es un *Microstoma floccosum*. Aunque mide unos dos centímetros de diámetro, su color me llama la atención y me arrodillo para examinarlo de cerca. Al aproximar la vista al suelo, veo diminutos cuerpos fructíferos por todas partes, una regata colorida sobre un mar de hojas y ramitas en descomposición.

Todos estos veleros brillantes pertenecen a la división más grande del reino de los hongos, los ascomicetos, nombre que deriva de los sacos en los que les crecen las esporas. El *Microstoma floccosum* del mandala empezó a vivir como una espora que medía solo dos centésimas partes de milímetro de punta a punta y a la que el viento llevó hasta la ramita muerta en la que ahora vive. Esa

espora germinó y después le creció un delgado filamento en la madera de la ramita. Debido a que los filamentos de los hongos son tan finos, pueden deslizarse entre las paredes de las células vegetales y serpentear a través de los minúsculos poros entre las células. Una vez dentro de la ramita, el filamento en desarrollo absorbió azúcares y otros nutrientes de esa sopa de madera deshecha y construyó nuevos filamentos que penetraron más en los tejidos muertos de la ramita. Estar encerrado en una caja de madera bajo tierra es un placer para el *Microstoma floccosum*.

Algunos otros participantes de la regata de hoy también se especializan en deshacer ramitas, mientras otros prefieren los mantos de hojas muertas. Sin embargo, a pesar de las diferencias de gusto, todos estos hongos crecen de la misma forma, arrastrando los tentáculos a través de la materia vegetal muerta, agrandando los cuerpos parecidos a una red cuando se alimentan de su entorno leñoso, que a la larga destruyen, empujando sus hogares hacia el mar del olvido. Las ramitas muertas son pues islas de hábitat que se hunden y los hongos tienen que mandar constantemente a su progenie a buscar nuevas islas. Es este imperativo el que trae a los hongos a nuestro mundo sensorial. Los hongos permanecen ocultos a nuestra vista hasta que a sus filamentos subterráneos les brotan cuerpos fructíferos. La flotilla amarilla, naranja y roja nos recuerda la extensa red de vida bajo la superficie del mandala.

El *Microstoma floccosum* fabrica propágulos en la superficie interior de su copa. Ahí se encuentran millones de sacos con forma de cañón, todos apuntando al cielo y cargados de ocho diminutas esporas. Cuando esos cañones están listos, las puntas se desprenden y las esporas salen disparadas al aire, elevándose varios centímetros por encima de la copa y huyendo de la capa límite de aire en calma que abraza la superficie del mandala. Las esporas son tan pequeñas que resultan invisibles a simple vista, pero la erupción simultánea de millones de ellas recuerda a una bocanada de humo fino. Un ligero roce a una parte de la superficie de la copa puede provocar su erupción. Eso me hace sospechar que los animales quizá

sean dispersores importantes de esporas de hongos, a pesar de las afirmaciones de los manuales sobre la "dispersión por el viento". Esta mañana la superficie del mandala presenta dentro de su circunferencia como mínimo ocho milpiés y ciempiés (uno de los cuales mordisquea un viejo *Microstoma floccosum*), varias arañas, un escarabajo grande, un caracol, varias docenas de hormigas y un nematodo. Cerca de los bordes del mandala van dando saltitos las ardillas, las ardillas listadas y los pájaros. Los cuerpos fructíferos de los ascomicetos están tan apretujados en la superficie que, aunque lo intentaran, a los animales les sería difícil no pisarlos.

Una seta marrón pequeña en el centro del mandala arroja esporas de sus laminillas abiertas en lugar de dispararlas hacia arriba desde el suelo como hacen los ascomicetos. Nuevamente se cree que el viento es el principal portador de estas esporas, pero también aquí los animales han dejado su huella. El sombrerete de la seta está irregularmente festoneado de mordeduras, quizá de una ardilla listada cuyo hocico y bigotes ahora reparten esporas por las hojas a muchos metros de distancia.

La vida reproductiva de los ascomicetos y las setas no tiene paralelo entre el resto de seres vivos. Extienden el significado de "sexo" más allá de cualquier cosa que hayamos conseguido los animales incluso en nuestros momentos más innovadores. No hay diferencia de sexos, como mínimo ninguna que hayamos descubierto, y no fabrican esperma u óvulos. Por el contrario, los hongos se reproducen mediante la unión de sus filamentos, fusionando literalmente sus cuerpos para formar la nueva generación.

La seta del centro del mandala nos permite asomarnos a ese ciclo vital extraño. Cuando germinan las esporas de las setas, producen pequeños filamentos que crecen a través de las hojas muertas en busca de parejas, y estos filamentos no se dividen en machos y hembras, sino en diferentes "tipos sexuales". A nosotros esos tipos sexuales nos parecen todos iguales, pero los hongos utilizan señales químicas para detectar las diferencias y solo se reproducen con un tipo sexual distinto del suyo. Algunas especies de

hongos tienen solo dos tipos sexuales, mientras que otros disponen de miles.

Cuando dos filamentos se encuentran, empiezan un complicado *pas de deux* y coordinan el baile con susurros químicos alternados. La secuencia inicial consiste en que un filamento envía una sustancia química exclusiva de su tipo sexual. Si la pareja es del mismo tipo, el baile se termina y los filamentos se ignoran el uno al otro. Sin embargo, si la pareja es de un tipo sexual distinto, la sustancia química se une a la superficie del filamento, que reacciona liberando su propia señal química. A ambos les salen entonces unos brotes pegajosos que se agarran y los acercan entre sí. Las células de los filamentos sincronizan su maquinaria celular y se funden las unas en las otras para formar un nuevo individuo.

El nuevo hongo es una amalgama de sus padres, pero la fusión no resulta del todo completa. El material genético de los padres sigue existiendo separadamente dentro del cuerpo del hongo y hay dos series distintas de ADN dentro de las células. La seta mantiene esta solución de unión por separado mientras se alimenta bajo tierra e incluso en el cuerpo fructífero que se levanta para liberar las esporas. La fusión genética completa solo se materializa en las laminillas que cuelgan de debajo del sombrerete, después de semanas o años de separación. Sin embargo, se trata de una unión fugaz. Inmediatamente después de reunirse el material genético, se divide dos veces para fabricar esporas que se sueltan y salen despedidas de su lugar de nacimiento. El viento o un animal se las llevarán y volverá a empezar el ciclo vital.

El *Microstoma floccosum* y otros ascomicetos siguen un patrón similar, pero sus filamentos no se unen hasta que no están listos para fabricar esporas. Pasan la mayor parte de su vida bajo tierra como filamentos sin fusionar. Solo en la edad adulta buscan otro tipo sexual con el que unirse, hacer crecer una copa y producir esporas.

La compleja vida sexual de los hongos subraya la curiosa naturaleza de los sexos en otros reinos de la vida. Sin excepción, la reproducción en los animales y las plantas implica células sexuales que vienen en dos formas distintas: células grandes y bien provistas

–óvulos– o células pequeñas y móviles, esperma. Sin embargo, los hongos nos enseñan que esa dualidad no es la única solución posible. Los tipos sexuales de los hongos pueden llegar a contarse por millares.

Puede que la relativa simplicidad del cuerpo de los hongos explique por qué no han desarrollado esperma y óvulos especializados. Toma mucho tiempo desarrollar el cuerpo grande y complejo de los animales y las plantas, así que tienen que empezar la vida con suficientes provisiones de comida para completar las primeras fases de su desarrollo. Sin embargo, los hongos no tienen que construir cuerpos muy elaborados. Sus filamentos sencillos salen de las diminutas esporas completamente formados. Fabricar un óvulo sería una pérdida de energía y de tiempo. Las algas nos ofrecen un buen ejemplo de esa idea. Se presentan en una gran variedad de formas: algunas son muy simples, como los hongos, mientras que otras tienen cuerpos complejos como los de las plantas o los animales. Como es previsible, las células sexuales de las algas simples tienen el mismo tamaño, pero en cambio las células sexuales de las algas complejas se han especializado en esperma y óvulos.

Aunque los hongos se escapan a los roles sexuales del resto del mundo multicelular, presentan divisiones sexuales y la reproducción solo es posible entre individuos de tipos sexuales distintos. Parece poco económico. Desde la perspectiva de un filamento fúngico en busca de pareja, la existencia de tipos sexuales se diría un obstáculo importante, porque tacha de la lista de potenciales parejas hasta la mitad del resto de individuos de la especie.

El enigma de los tipos sexuales todavía tiene que resolverse del todo, pero parece que la política de la vida dentro de la célula puede acercarnos a la respuesta. Las células de los hongos están construidas con el mismo sistema de muñecas rusas que las células de los animales y las plantas. Los hongos contienen mitocondrias que proporcionan energía a la célula al quemar alimento. En condiciones normales, la relación entre las mitocondrias y las células huésped es de colaboración. Sin embargo, el conflicto aguarda a la vuelta de la esquina.

Debido a que las mitocondrias son descendientes de antiguas bacterias, mantienen su propio ADN y se multiplican dentro de la célula exactamente como las bacterias en libertad. Esa multiplicación normalmente se ajusta de modo que cada célula tenga el número adecuado de mitocondrias. Sin embargo, si las cosas se tuercen, un excesivo crecimiento de mitocondrias daña la célula; esa proliferación insalubre se produce, por ejemplo, cuando mitocondrias de dos hongos distintos se encuentran en una sola célula. En esas condiciones, la competencia entre distintas variedades de mitocondrias favorece a aquellas que se dividen con más vigor. Por lo tanto, la lucha cortoplacista entre mitocondrias puede destrozar el éxito a largo plazo de toda la célula.

Parece como si los tipos sexuales de los hongos estuvieran diseñados para impedir esa clase de conflicto. Los tipos sexuales vienen con una serie de reglas que establecen que solo un tipo sexual proporcionará mitocondrias a la siguiente generación. Por lo tanto, los tipos sexuales ofrecen a las células de los hongos una manera de sofocar conflictos potencialmente dañinos entre mitocondrias.

No obstante, las teorías sobre los orígenes y la evolución de los tipos sexuales son inciertas y controvertidas. Los hongos hacen alarde de una variedad tan grande de métodos reproductivos que la mayoría de intentos de explicación global ha fracasado. Por ejemplo, unos pocos hongos producen estructuras que casi parecen óvulos, echando así por tierra la regla general de que los hongos no fabrican ni óvulos ni esperma. En otras especies a veces las mitocondrias de distintos filamentos padre se mezclan, lo que rompe las reglas sobre los tipos sexuales. Tanta diversidad puede resultar abrumadora, tal como enseguida descubren los estudiantes de biología de los hongos. Sin embargo, también sirve de contrapunto refrescante a la más bien uniforme observancia de los roles de macho y hembra en los animales y las plantas.

Al estar boca abajo, veo cientos de pequeñas copas y setas que se extienden por la superficie de hojarasca del mandala. Todas las

ramitas en descomposición tienen uno o varios racimos de copas coloridas. La mayor parte de esas hojas muertas están coronadas por setas marrones minúsculas. Que de un suelo forestal que he ido observando durante meses hayan podido aparecer de repente tantas especies e individuos nos recuerda que no vemos gran parte de la vida del bosque aunque la examinemos de cerca. Sin embargo, que no se vea no significa que no sea importante: es el motor de la descomposición, y mantiene los nutrientes y la energía en movimiento a través del ecosistema forestal. La exuberante productividad veraniega de este bosque depende de la vitalidad de la red subterránea de hongos.

13 DE JULIO

LUCIÉRNAGAS

Tengo el cuerpo en tensión mientras me abro camino a través del ambiente neblinoso rumbo al mandala. Ando en la oscuridad parcial del anochecer. Piso con cuidado y fuerzo la vista en la penumbra, buscando las serpientes que pueda haber en el camino. Las serpientes cabeza de cobre, *Agkistrodon contortrix* o "contorsionistas de dientes ganchudos", son las que más me preocupan, las que suelen merodear en las noches bochornosas de verano. Esta noche el tentempié favorito de las cabeza de cobre va saliendo a la superficie. Cientos de cigarras suben de sus madrigueras larvarias subterráneas. Seguro que hay serpientes al acecho. No estoy dispuesto a hacerme daño en los ojos deslumbrado por el reflejo de una linterna, así que avanzo despacio y en la luz incierta veo por todas partes el camuflaje foliar de la cabeza de cobre.

Probablemente el miedo a los depredadores se grabó en mi psique a lo largo de millones de años de selección natural. Los primates tropicales con escasa visión nocturna rara vez viven muchos años si le pierden el respeto a la oscuridad. Como el resto de seres vivos, desciendo de los supervivientes, así que el temor de la mente es la voz de los ancestros que me susurran la sabiduría acumulada. La mente consciente da la razón al miedo zoológico: dientes largos, un veneno doloroso que destruye la sangre, un orificio cerca del ojo que capta diferencias mínimas de temperatura, un ataque que se produce en una décima de segundo. Llego al mandala y su familiaridad hace que la tensión amaine. Nuevo susurro del árbol genealógico: lo conocido es seguro.

Al sentarme me da la bienvenida el destello de una luciérnaga. La luz verde se levanta varios centímetros y después se queda quieta uno o dos segundos. Hay justo la claridad suficiente para que pueda ver al coleóptero y su linterna. Ya atenuado el brillo verde, el animal se mantiene inmóvil durante tres segundos y baja en picado cruzando el mandala. Luego repite la rápida ascensión resplandeciente, la pausa sin luz y la caída en picado.

Si fuera un entendido de verdad en luciérnagas, podría identificar la especie de luciérnaga por el ritmo y la duración de su destello, pero desgraciadamente tales conocimientos se me escapan. Durante el día, he utilizado mi guía de campo para identificar a las luciérnagas del género *Photuris* que trepan por las plantas del mandala. El anochecer está demasiado avanzado para que pueda darme cuenta de si este individuo es un *Photuris* o no, pero el destello ascendente delata que se trata de un macho. El destello es la frase inicial de lo que él espera que sea una conversación con una futura pareja. Suelta la frase a través de la hojarasca y aguarda una respuesta que a menudo no llega. Tras el destello, el macho inspecciona el suelo del bosque y se mantiene quieto para que la hembra tenga la oportunidad de reaccionar, antes de emprender el vuelo y seguir con su búsqueda. De vez en cuando, una hembra devuelve un destello desde su escondite, y el macho vuela hacia ella y repite el destello. La pareja intercambia señales varias veces y finalmente se aparea.

Si la luciérnaga que sobrevuela el mandala es una *Photuris*, su pareja hará otro truco lumínico después de haberse reproducido. Cuando una *Photuris* hembra ha acabado la tarea nada extraordinaria de atraer pretendientes y aparearse, dirige su atención hacia los machos de otras especies de luciérnagas. La secuencia de destellos, propia de cada especie, normalmente mantiene a distancia a los machos y las hembras de distintas especies. Del mismo modo que a nosotros no nos interesan las señales sexuales de los gorilas, las luciérnagas ignoran los destellos de especies distintas a la suya. Sin embargo, las hembras de *Photuris* imitan las señales de respuesta de otras especies, lo que

atrae a unos infelices machos llenos de esperanza, que ellas apresan y devoran. Después de llevarlo al altar, el novio se convierte en el banquete nupcial; la novia que parecía tan atractiva de lejos resulta ser un gorila muerto de hambre. A la "mujer fatal" la presa le sirve no solo de comida, sino también como fuente de sustancias químicas defensivas. Roba estas moléculas nocivas de su víctima y las vuelve a desplegar dentro de su propio cuerpo. Si una araña la atrapa, segrega esas sustancias y consigue repeler el ataque. En estas noches cálidas de verano parece que el suelo del bosque está lleno de peligros con dientes ganchudos.

Sin embargo, el peligro solo es una parte de la historia. Las luciérnagas también son algo precioso que nos cautiva con su centelleo y brillo. Igual que la luminosidad y el color de las flores o que la exuberancia del canto de los pájaros, el parpadeo de las luciérnagas abre una ventana y dispersa la neblina que media entre nosotros y una experiencia más verdadera del mundo. Cuando los niños persiguen luciérnagas entre risas, no persiguen coleópteros, sino que capturan el asombro.

Cuando el asombro madura, se va adentrando en la experiencia para buscar en su interior capas más profundas de maravilla. Ese es el objetivo más elevado de la ciencia. Y la historia de la luciérnaga abunda en asombro oculto. El destello del coleóptero invita a la admiración por la capacidad de la evolución de improvisar una obra maestra a partir de una materia prima nada extraordinaria: la linterna de la punta del abdomen de la luciérnaga está hecha de materiales normales y corrientes en los insectos, pero ensamblados de tal forma que el animal se convierte en un duendecillo resplandeciente.

El insecto suelta los destellos gracias a una sustancia llamada luciferina. Como muchas otras moléculas, la luciferina se combina con el oxígeno y se convierte en una bola de energía, que alivia la tensión liberando un paquete de energía en movimiento, un fotón que percibimos como luz. La luciferina es similar en su estructura a otras moléculas de la célula pero, suponemos que a través de varias mutaciones, se ha vuelto especialmente sensible a la sobreexcitación

y el alivio. La molécula recibe la ayuda de dos sustancias químicas más cuyo trabajo es llevar la luciferina a un estado de estimulación excesiva.

Las luciérnagas por lo tanto sobrealimentan su química interna para convertir una luz trémula en un resplandor. Sin embargo, esas sustancias químicas producen como mucho una luz débil y difusa. La linterna está pensada para concentrar ese potencial en los destellos y contradestellos con los que las luciérnagas marcan tan cuidadosamente el compás de su conversación prenupcial. Y eso se consigue regulando el flujo de oxígeno que llega a la luciferina. Las células de la linterna guardan las moléculas de luciferina en su interior y después las envuelven con una gruesa capa de mitocondrias, cuya función habitual es la de proporcionar energía a la célula, pero que aquí se utilizan como esponjas de oxígeno. En condiciones normales, el oxígeno que se filtra a esas células se quema rápidamente en las mitocondrias, sin que llegue al núcleo y estimule la luciferina. Esa capa de mitocondrias es el interruptor de apagado de la luciérnaga. Cuando llega el momento de soltar destellos, se dispara una señal nerviosa en la linterna que provoca que un gas, el óxido nítrico, se libere desde las terminaciones nerviosas de las células; entonces paralizan las mitocondrias y el oxígeno penetra en el interior, lo que enciende el brillo químico.

El mecanismo de emisión de luz de la luciérnaga utiliza dos elementos omnipresentes en la fisiología animal, las mitocondrias y el óxido nítrico, y los combina en un interruptor de luz elegante y, por lo que sabemos, único. La arquitectura de la linterna es la obra maestra de un hojalatero, porque convierte unas células corrientes y los conductos respiratorios del insecto en un hogar confortable para la luciferina. El trabajo del hojalatero no es ni mucho menos una chapuza. Más del noventa y cinco por ciento de la energía que se consume en el destello de la luciérnaga se libera en forma de luz, muy por encima del rendimiento de las bombillas diseñadas por los seres humanos, que desperdician en forma de calor la mayor parte de energía.

En el cielo la oscuridad de la noche ya es total. Sin embargo, al levantarme para abandonar el mandala veo un bosque lleno de luces. Las luciérnagas se mantienen a menos de un metro del suelo, y desde donde estoy contemplo una superficie que se balancea, un mar de boyas resplandecientes. Ilumino la senda con mi propia linterna y paso junto a serpientes cabeza de cobre imaginarias, mientras reflexiono sobre el contraste entre el diseño industrial ineficiente de mi linterna y la maravilla biológica que baila a mi alrededor. Sin embargo, es una contienda desigual. Estoy comparando un bebé con un sabio. Nuestras linternas apenas tienen doscientos años de pensamiento a sus espaldas y se han desarrollado en un mar de abundante energía fósil y química. Los seres humanos no han dedicado mucho esfuerzo a mejorar los prototipos de las primeras luces eléctricas. Con combustible ilimitado, ¿por qué íbamos a hacerlo? En cambio, tras el diseño de la luciérnaga hay millones de años de prueba y error. Los coleópteros siempre han andado cortos de energía y han producido una lámpara que desperdicia poco y que, en lugar de sustancias químicas extraídas del suelo, utiliza como combustible su propio alimento.

27 DE JULIO

UN RAYO DE SOL

Es media tarde, aunque pesa sobre el mandala una espesa sombra. Ha llegado el nadir del ciclo anual de luminosidad diurna. Ahora que el verano está en su cúspide, la superficie del mandala es más oscura que en ningún otro momento del año. Incluso el solsticio de invierno resulta más luminoso a ras del suelo que la penumbra de julio. Las capas de hojas de arce, nogal americano y roble absorben con codicia los rayos de sol y roban toda la luz menos una fracción del porcentaje que cae sobre el dosel. Son malos tiempos para las hierbas del bosque; no sorprende que muchas hagan todo el trabajo del año en unas pocas semanas soleadas de primavera. Las plantas de poca altura que no han entrado en letargo están adaptadas a la vida austera y gorronean luz con las hojas, diseñadas para aguantar a base de sobras. Estas hierbas del bosque son las cabras nómadas del desierto del mundo vegetal, con poco apetito y carne ahorradora.

De repente, una columna de luz intensa irrumpe oblicuamente a través de la neblina, brilla a través de una abertura en el dosel e ilumina una sola hoja de podofolio en el mandala. El podofolio brilla bajo los focos durante cinco minutos, y entonces el lento movimiento del rayo de sol destaca un arce joven y después otro. A lo largo de una hora el círculo de resplandor trepa por la hoja lustrosa y trilobulada de una hepática, sigue por el perifollo oloroso, se encarama al calicanto y atraviesa las hojas irregulares de unas jóvenes *Polymnia canadensis*.

A ninguna planta se le conceden más de diez minutos bajo la mirada del sol antes de que vuelva a estar cubierta por un manto de

sombra. No obstante, esa breve visita del rayo puede aportar la mitad de la ración diaria de luz de la planta. Las cabras disponen de algunos minutos en el comedero antes de volver al desierto. Sin embargo, la superabundancia de comida puede hinchar y matar a una cabra hambrienta. Del mismo modo, esa iluminación repentina es una bendición parcial para las plantas del mandala. La escasez de luz es una privación capaz de debilitar una planta, pero un exceso repentino puede echar por tierra la economía de ahorro de la hoja y afectar a su funcionamiento de forma permanente. Las hojas que se encuentran bajo el rayo de sol tienen que reorganizar su cuerpo con rapidez para acoger la explosión de energía del sol.

Las hojas, desde luego, están diseñadas para capturar la energía de la luz y ponerla a trabajar. Lo hacen mediante el despliegue de moléculas captadoras de luz que atrapan los rayos y los convierten en electrones excitados. Estos electrones se retiran y su chispa se utiliza para alimentar la maquinaria productora de alimento de la planta. Sin embargo, cuando cae demasiada luz sobre una hoja que no está preparada, los electrones activados no pueden procesarse a suficiente velocidad e inundan las delicadas moléculas captadoras de luz, a las que arrollan con su agitación descarrilada. Igual que un motor de un voltio enchufado a la pared, la hoja recibe una descarga eléctrica. Las plantas adaptadas a la sombra son especialmente vulnerables al daño que pueden causar los electrones agitados. Al contar con muchas más moléculas captadoras de luz que moléculas procesadoras de electrones, un rayo de sol puede aplastar con facilidad su estructura interna.

Ante la llegada de un rayo de sol, las plantas desconectan algunas moléculas captadoras de luz antes de que puedan acumular demasiada energía. A la primer señal de alarma, una parte esencial del aparato captador se desplaza temporalmente fuera de su ubicación habitual y solo vuelve si la situación se ha calmado. Es como si se cortara un cable de un motor eléctrico, se parara el funcionamiento del motor y se volvieran a unir los extremos del cable para encenderlo de nuevo. La acumulación de electrones también provoca que el montón de membranas que protege a los

captadores de luz se afloje, lo que permite que la energía fluya al interior, donde tiene lugar el procesamiento de electrones. Los cloroplastos, que contienen toda la maquinaria fotosintética, reaccionan ante el rayo de sol rodando hacia los bordes de la célula y dándole la espalda. De esta forma protegen las moléculas del interior. Cuando el rayo de sol pasa de largo, los cloroplastos regresan a la superficie superior de la célula y disfrutan de la tenue luz del bosque como si fueran nenúfares.

La reacción de las plantas ante la repentina llegada de luz es paradójica. Se desconectan y se alejan, con lo que dan la sensación de rehuir justamente lo que andaban buscando. Las hierbas del mandala sorben un hilo miserable de luz durante la mayor parte del día y después se cubren la boca con un paraguas cuando llega el diluvio. Sin embargo, la fuerza del aguacero que representa el rayo de sol es tal que el agua salpica bajo el paraguas y las plantas reciben una bocanada de vida.

El movimiento del rayo de sol a lo largo del mandala lo ilumina todo a su paso En el resplandor, una telaraña brilla con matices plateados y da al traste con su invisibilidad. La hojarasca se vuelve de un color arenoso intenso y gana en relieve al dibujarse sombras oscuras. Las avispas y las moscas iridiscentes resplandecen como virutas de metal esparcidas por el mandala.

Parece que el círculo de luz atrae a los insectos del mandala, que se mantienen dentro de sus límites a medida que el rayo de sol se va desplazando. Los más obsesivamente leales de este séquito de insectos son un grupo de tres avispas de la superfamilia de los icneumonoideos. Cuando una de ellas se aleja del resplandor, enseguida se apresura a volver. Las moscas que sobrevuelan el mandala no se sienten tan atraídas y hacen incursiones en la oscuridad que duran un minuto o más.

Las avispas adoradoras del sol están rebosantes de energía nerviosa. Corren frenéticamente de un lado a otro y sacuden todo el rato las antenas y las alas. Pasan las antenas temblorosas por encima y debajo de cada hoja comprendida en el pequeño mundo

del rayo de sol. Cada minuto o dos las avispas se ponen de lado y se frotan las patas para limpiarse la seda que las arañas han esparcido por el mandala. Después de la friega, recuperan la postura habitual y reanudan su camino tembloroso.

Ese frenesí de las avispas tiene un objetivo claro: buscan orugas en las que desovar. Las larvas de avispa salen de los huevos, perforan la carne de la oruga y entonces se la comen lentamente, dejando para el final los órganos vitales. Las orugas siguen adelante estoicamente, alimentándose de hojas y digiriéndolas mientras les quitan la vida desde dentro. Estas orugas vaciadas resultan pues excelentes huéspedes, ya que reponen continuamente lo que el parásito roba.

El ciclo vital parasitario de la avispa inspiró una de las observaciones teológicas más conocidas de Charles Darwin. El naturalista pensaba que la actividad de los icneumonoideos era especialmente cruel. Estas avispas parecían incompatibles con el Dios que había interiorizado en su formación anglicana y victoriana en Cambridge. Al botánico presbiteriano de Harvard Asa Gray le escribió: "No puedo persuadirme de que un Dios caritativo y todopoderoso haya creado deliberadamente a los icneumonoideos con la intención expresa de que se alimenten dentro de los cuerpos vivos de las orugas". Para Darwin, estas avispas eran el "problema del mal" escrito con el alfabeto del mundo natural. A Gray no le convencieron los argumentos teológicos de Darwin. Aunque seguía apoyando sus ideas científicas, nunca abandonó la creencia en la compatibilidad de la evolución y el teísmo cristiano tradicional. Sin embargo, el sufrimiento hacía mella en Darwin; siempre estaba enfermo y la muerte prematura de su hija preferida le dolió en el alma. A medida que se iban sucediendo años oscuros, el peso del dolor del mundo lo fue llevando desde un vago deísmo hasta un agnosticismo escéptico. Los icneumonoideos simbolizaban su sufrimiento, y el hecho de que existieran era una burla del Dios cuya providencia los victorianos creían adivinar en todo el mundo natural.

Los teólogos han intentado responder al cuestionamiento de Darwin, pero los filósofos teístas, quizá previsiblemente, tienen

pocos conocimientos de la vida de las orugas. Se da por supuesto que estas carecen de alma y de conciencia, de modo que su sufrimiento no puede ser un mecanismo de crecimiento espiritual o una consecuencia de su libre voluntad. Otro argumento defiende que las orugas no notan nada o, si lo hacen, al no disponer de conciencia no pueden pensar en su dolor, así que el dolor no es sufrimiento de verdad.

Estos argumentos no tienen demasiado sentido. De hecho, no son argumentos sino reafirmaciones de los supuestos que se ponen en cuestión. Darwin defiende que toda la vida está hecha de la misma tela, de manera que no podemos desestimar los nervios crispados de las orugas basándonos en que solo nuestros nervios causan dolor de verdad. Si aceptamos la continuidad evolutiva de la vida, no podemos cerrar la puerta a la empatía con el resto de animales. Nuestra carne es su carne. Nuestros nervios están construidos a partir del mismo esquema que los de los insectos. Descender de un ancestro común implica que el dolor de la oruga y el del ser humano son parecidos, igual que se parecen los nervios de la oruga y los de los seres humanos. Desde luego, puede que el dolor de la oruga difiera en textura y cantidad del nuestro, como difieren su piel o sus ojos, pero no hay ninguna razón para suponer que el peso del sufrimiento sea más leve en el caso de los animales no humanos.

La idea de que la conciencia es un don reservado a los seres humanos carece igualmente de fundamento empírico: es una suposición. Sin embargo, incluso si fuera correcta, no resolvería el problema de Darwin con los icneumonoideos. ¿Se sufre más cuando el dolor se inserta en una mente que puede ver más allá del momento actual? ¿O sería peor estar encerrado en un mundo inconsciente en que el dolor es la única realidad? Quizá se trate de una cuestión de gustos, pero el segundo escenario me parece todavía peor.

El rayo de sol ya ha atravesado el mandala y ahora resplandece sobre mis piernas y pies. Sigue adelante y me cae de lleno sobre la

cabeza y los hombros, como una caricatura de la inspiración divina. Desgraciadamente, la Diosa del Sol no me transmite ninguna revelación filosófica; más bien, hace que me empiece a correr el sudor por la cara y el cuello. Noto la energía que sustenta el baile nervioso de las avispas. Tienen los cuerpos tan finos que incluso unos pocos segundos al sol les elevan la temperatura varios grados. Para evitar achicharrarse, las avispas dejan que las corrientes de aire se paseen por su cuerpo y, segundo a segundo, mantienen un equilibrio entre la entrada de los rayos de sol y la salida de calor por convección. El sudor que yo mismo segrego es la respuesta perezosa de un mamífero corpulento para el que el equilibrio térmico se mide en horas y no en segundos.

Finalmente el rayo de sol se deja caer de mi hombro derecho y abandona el mandala en dirección al este. Las molestas avispas viajan con él. A medida que el rayo de sol se aleja, la penumbra vuelve al mandala y me doy cuenta de que haber presenciado el paso del rayo de sol ha modificado mi percepción. Ahora cuando miro el bosque no veo la uniformidad que veía antes, sino constelaciones que se desplazan por un cielo oscuro.

1 DE AGOSTO

EL TRITÓN Y EL COYOTE

La lluvia ha dejado al aire el mundo húmedo de la hojarasca y sus habitantes corretean expuestos sobre las hojas mojadas y relucientes. El más voluminoso de esos exploradores es una salamandra, un *Notophthalmus viridescens* o tritón rojo, que otea la neblina desde una roca musgosa.

El vientre y la cola del tritón descansan sobre la roca y el pecho está levantado apoyándose en las patas delanteras, que extiende como quien hace una flexión. La cabeza la mantiene plana y quieta. Los ojos como gotas de oro miran fijamente el mandala sin moverse. A diferencia de la piel de la mayoría de las salamandras, la del tritón, de un color terciopelo carmesí, parece seca incluso en la neblina espesa.

Dos hileras de manchas de un naranja intenso recorren la espalda del tritón, a modo de aviso para los pájaros y otros depredadores: ¡alejaos, hay toxinas! La piel del tritón está impregnada de venenos que suponen un escudo contra los depredadores del que carecen la mayoría de las salamandras. Por lo tanto, los tritones están tan seguros de sí mismos que se pasean por la superficie mientras casi todas las salamandras se esconden bajo tierra. Ese atrevimiento explica la piel sorprendentemente seca del tritón. A diferencia de sus primos huraños y temerosos de la luz, la piel de los tritones es gruesa y relativamente impermeable, lo que les permite soportar la luz del día.

El tritón sigue quieto durante un par de minutos, interrumpe su trance dando cinco pasos entre el musgo, se detiene y vuelve a

quedarse congelado. Lo más probable es que busque mosquitos, colémbolos y otros invertebrados pequeños jugando con la alternancia de momentos de vigilancia discreta y de movimiento repentino para acercarse sigilosamente, levantar y capturar a la presa. Se trata de un método de caza habitual. Si se observa a un zorzal petirrojo en un césped o a un ser humano que busca un gato perdido se asistirá al mismo patrón de movimiento.

Los andares del tritón son torpes. Las patas se extienden separándose del cuerpo y se dedican a remar por el suelo. Una pata trasera se estira hacia fuera y lo impulsa hacia delante, luego lo hace la pata delantera del lado contrario y después la otra pata trasera. La columna vertebral se tuerce hacia un lado y hacia el otro según se mueven las patas, primero hacia fuera y luego hacia delante. Este balanceo horizontal de la columna es como el de un pez que nada. Aunque los huesos y músculos de los tritones están adaptados a la vida terrestre, su modo general de andar es un contoneo de pez. Ese giro lateral les funciona a los animales que nadan envueltos por el agua o la tierra, pero en superficies bidimensionales contorsionarse no es eficaz; las salamandras tienen que mantener el equilibrio con tres patas (o con el vientre) cada vez que estiran una pata. Una salamandra que corre atemorizada es un aleteo de miembros que se agitan.

Los vertebrados terrestres que necesitan rapidez han revisado la vieja arquitectura de los peces como mínimo en tres ocasiones. Tanto los ancestros de los mamíferos como dos de las líneas de dinosaurios aportaron modificaciones a la ineficacia evidente de los peces en tierra. Las patas se desplazaron hacia dentro y hacia atrás, colocando así el peso del animal directamente sobre sus pies. Eso hizo que fuera más fácil mantener el equilibrio y, por lo tanto, correr sin tropezar. El balanceo lateral de la columna se sustituyó por una flexión vertical. Los mamíferos son maestros de esa flexión y pueden estirar ambas patas delanteras mientras empujan con la fuerza combinada de las traseras, y entonces encorvar la columna y recuperar la posición de las patas delanteras mientras mueven hacia adelante las traseras, listas para empujar de nuevo. Las salamandras

no pueden igualar los andares saltarines de un ratón, y no digamos ya los enormes saltos de un guepardo al correr. Curiosamente esta columna moderna ha regresado al mar para competir con la vieja espina de los peces. Las ballenas mueven la cola hacia arriba y hacia abajo y no de un lado para otro, lo que revela su ascendencia terrestre. Por lo que tenemos entendido, las sirenas hacen otro tanto.

La columna y las extremidades del tritón hacen que resulte desgarbado en tierra, pero el ciclo de vida del animal solo es terrestre en parte. El animal que tengo delante corresponde solo a una de las muchas fases del *Notophthalmus viridescens*. Este está en una fase intermedia, a caballo entre la fase larvaria y el adulto, que se conoce como subadulto. A diferencia del subadulto, tanto la larva como el adulto son acuáticos. La larva sale a mordiscos del huevo, sujeto a la vegetación sumergida de una laguna o un arroyo. La cría tiene unas branquias plumosas en el cuello y vive bajo el agua durante varios meses, alimentándose de insectos y crustáceos. A finales de verano, las hormonas se adueñan del cuerpo de la larva. Las branquias se disuelven, los pulmones crecen, la cola se transforma, pasando de aleta a vara, y la piel se pone áspera y roja. Una pubertad exagerada desmonta y reconstruye al subadulto que sale a tierra.

Una vez metamorfoseados, los tritones se quedan en tierra de uno a tres años y se aprovechan de la abundancia del bosque sin que les moleste la competición de los adultos. Los tritones son como las orugas, ya que comen un alimento que no interesa a ninguna otra fase vital de su especie. Cuando han alcanzado un tamaño suficiente, regresan al agua y vuelven a transformarse, esta vez en nadadores de piel aceituna con órganos sexuales y colas aquilladas. Estos adultos permanecen en el agua el resto de su vida, se reproducen cada año y en algunos casos viven más de una década en esta fase final del ciclo.

En inglés el animal del mandala se llama *eft*, y la complejidad de este ciclo vital arroja algo de luz sobre ese extraño nombre. *Eft* es como se decía tritón en inglés antiguo, y esa etiqueta arcaica se

utiliza para distinguir la fase terrestre y joven de la acuática y sexualmente madura. Huevo, larva, subadulto *(eft)*, adulto; una sucesión que nos traslada a los orígenes de la lengua para rebuscar palabras con que etiquetar todas las fases.

Cuando los tritones vuelven al agua para reproducirse, el veneno de la piel les permite vivir junto a grandes peces depredadores y les abre, pues, hábitats demasiado peligrosos para otras salamandras menos exóticas. Al embalsar arroyos y construir miles de estanques poblados de róbalos y otros depredadores, los seres humanos le han dado al tritón, sin ser conscientes de ello, una gran ventaja respecto a sus primas las salamandras. El tritón surca las olas que levanta el Gran Buque del Progreso.

Las sucesivas transformaciones del tritón son solo una parte del repertorio sorprendentemente variado de ciclos vitales de la salamandra. El *Plethodon* que en febrero se retorcía por el mandala pasó su fase larvaria dentro del huevo. De allí salió un adulto en miniatura que ya no tenía que atravesar ninguna metamorfosis. Por lo tanto, las salamandras *Plethodon* no necesitan acudir al agua para reproducirse. Río arriba, las salamandras moteadas ponen huevos en charcas efímeras primaverales. Las larvas se quedan en el agua y se alimentan con frenesí para transformarse en adultos subterráneos antes de que la laguna se seque. En los arroyos que oigo correr desde el mandala hay salamandras *Eurycea cirrigera*, que siguen el sistema huevo-larva-adulto, pero se quedan en el arroyo en esa última fase. Aguas abajo, las *Necturus* viven en arroyos más grandes y ríos. Se saltan la fase "adulta", mantienen el cuerpo larvario provisto de branquias durante toda la vida y les crecen órganos reproductores en esa forma juvenil. Hay que atribuir por tanto buena parte del éxito de las salamandras a la flexibilidad de su sexualidad y su desarrollo. Moldean su vida para adaptarse al entorno y viven en un conjunto de hábitats terrestres y de agua dulce más amplio que ningún otro grupo de vertebrados.

Mientras el abanderado de la flexibilidad sexual se aleja pesadamente, los sonidos de otro campeón de la adaptabilidad

inundan el mandala. A una mezcolanza de ladridos y aullidos agudos le responden un aullido y un ladrido más graves. Después los sonidos se unen en un coro enmarañado de aullidos y ladridos. Son coyotes. Están muy cerca. Probablemente oigo a una madre que saluda a sus cachorros jóvenes en el pedregal, treinta pasos al este del mandala.

Los cachorros de coyote nacieron a principios de abril, justo cuando les salieron las hojas a los arces. El cortejo y el apareamiento de los padres tuvieron lugar en pleno invierno y, hecho poco habitual en un mamífero, el macho se quedó con la hembra durante su embarazo y llevó comida a los jóvenes hasta varios meses después de su nacimiento. Ahora los cachorros ya son suficientemente mayores como para abandonar la cueva, el tronco hueco o la madriguera que la madre escogiera como lugar de cría. Los padres coyotes dejan a los cachorros en lugares de encuentro donde los jóvenes holgazanean y juegan mientras los padres buscan alimento. Un adulto que sale a cazar se aleja a menudo un kilómetro o más de los cachorros y después vuelve al amanecer y al anochecer entre aullidos jubilosos para alimentar y cuidar a sus crías y descansar junto a ellas. Es muy probable que lo que he oído fuera uno de esos reencuentros. A los cachorros destetados se les alimenta primero con comida regurgitada y después con sobras sin masticar. Desde finales de verano hasta otoño los cachorros van deambulando solos cada vez más lejos y finalmente abandonan el ámbito de su hogar natal a finales de otoño o en invierno para buscar su propio hogar. Encontrar un territorio adecuado y todavía vacante puede resultar difícil, así que estos vagabundos se desplazan a decenas y a veces a cientos de kilómetros de las guaridas de sus madres.

No hace mucho que el aire que atraviesa el mandala vibra con el canto de los coyotes. Aunque puede que otros animales parecidos hayan vivido aquí hace decenas de miles de años, esos protocoyotes se extinguieron mucho antes de la llegada del ser humano, procedente primero de Asia y luego de Europa y de África; por entonces los coyotes vivían en las praderas y matorrales del oeste y

del medio oeste, mientras que los lobos dominaban los bosques del este sin que sus primos más pequeños supusieran ningún impedimento. Sin embargo, en los últimos doscientos años el número de lobos ha disminuido rápidamente, y en las últimas décadas el coyote ha colonizado toda la mitad este del continente. ¿A qué se deben las fortunas contrarias de estos dos cánidos? ¿Por qué la colonización europea de América del norte aplastó al lobo y en cambio permitió que el coyote se extendiera victorioso por medio continente?

El papel simbólico del lobo en la cultura europea les auguraba a sus congéneres norteamericanos una persecución intensa. Los aullidos que despertaron a los padres peregrinos del *Mayflower* en su primera noche en el nuevo mundo activaron miedos muy arraigados del viejo. En Europa también había lobos, y su presencia impregnaba la mitología de los colonos. A los europeos les aterraban y lo convirtieron en un símbolo del mal desatado, de las pasiones de la naturaleza dirigidas contra nosotros. A medida que los lobos europeos fueron exterminados, la distancia entre el hombre y el animal se agrandó, y el miedo superó con mucho lo que merecían los estragos del cánido. Cuando el *Mayflower* ancló en Cape Cod, los padres peregrinos estaban predispuestos a temblar ante los aullidos estremecedores. Finalmente se encontraban con el animal que les habían enseñado a temer, pero con el que nunca se habían topado. En el momento del viaje del *Mayflower* hacía más de cien años que se habían extinguido los lobos en Inglaterra, pero en este nuevo mundo salvaje parecían estar por todas partes.

Esa aversión no es del todo irracional. Los lobos son carnívoros especializados en comer grandes mamíferos. Como cazan en manadas cooperativas, no les cuesta demasiado derribar animales más corpulentos que ellos, personas incluidas. Somos su presa, de modo que nuestro miedo está justificado. El comportamiento de los lobos aviva además ese temor. Las manadas de lobos siguen la pista de los viajeros solitarios durante días, sea con la intención de matarlos o no. Ese comportamiento le valió al lobo un lugar en la simbología del mal de nuestra cultura. El hecho de que los seres

humanos se encuentren muy al final de la lista de preferencias alimentarias del lobo no importa demasiado. Algunos ataques y acosos bastaban para que el Lobo Malo se consolidara como personaje en los cuentos.

La persecución directa con trampas, veneno y escopetas explica en buena parte la desaparición del lobo en América del norte. Sin embargo, los europeos también lanzaron un ataque al depredador desde otro ángulo, esta vez indirecto. La utilización voraz de la madera y la sobreexplotación de los ciervos transformó el este de Norteamérica, que, de ser un bosque lleno de carne, pasó a convertirse en un mosaico de granjas, pueblos y cicatrices madereras irregulares en el que los ciervos brillaban por su ausencia. El primer depredador de grandes herbívoros quedó arrinconado. El ganado que pacía en las zonas antes arboladas era la única presa al alcance, y los ataques de lobos a las fincas aumentaron el odio de los colonos y su determinación de acabar con el animal. La erradicación del lobo pasó a formar parte de la política de los sucesivos gobiernos. Los estados contrataron cazadores, pagaron recompensas y, en una maniobra que atacaba tanto a los lobos como a los indios americanos, exigieron que estos pagaran, bajo pena de "duros azotes", un impuesto anual en forma de pieles del cánido. El lobo estaba situado en la cúspide de la red trófica del bosque, una posición poderosa pero precaria. Condenado por su propia especialización y por el miedo de los colonos, sucumbió a medida que la red se volvió a tejer a imagen del norte de Europa.

Los coyotes prefieren bailar por la red trófica en lugar de encaramarse a su cúspide. El hacha, el arado y la motosierra produjeron en el bosque claros, praderas y bordes cubiertos de maleza que ofrecían al coyote justo lo que necesitaba: un montón de roedores, bayas, conejos salvajes y animales domesticados de poco tamaño. Los coyotes son flexibles, poco fieros y si pierden un tipo de alimento concreto no les afecta sustancialmente en su capacidad de supervivencia. Cazan solos o en pequeños grupos y cambian su sistema social para adaptarse al entorno. La erradicación del lobo

levantó otra barrera. Los lobos ya no perseguirían al ágil invasor del oeste ni frenarían su avance.

A diferencia de los grandes depredadores como el lobo, los coyotes son abundantes, lo que los hace especialmente invulnerables a los intentos de erradicación. Tal como descubrió la revolución francesa, y como redescubrieron los organismos de control de depredadores del gobierno federal de Estados Unidos y de los gobiernos estatales, es más difícil acabar con las clases altas que matar al rey.

El coyote también carece de la carga cultural que pesa sobre el lobo. A este autóctono de Norteamérica no se le echaron las culpas de los relatos espeluznantes procedentes de Europa. Los coyotes atacan al ganado, pero dejan tranquilas a las personas. Por tanto, aunque los ganaderos de ovejas los matan y presionan al gobierno para que haga otro tanto, jamás un aullido de coyote ha despertado la aversión de los ciudadanos ni un padre ha dado caza al animal por miedo de que masacrara a sus hijos mientras jugaban en el jardín.

Los coyotes llegaron al rincón noreste de Norteamérica en los años 30 y 40 del siglo XX. La oleada meridional empezó después, en los 50, y alcanzó Florida en los 80. Los coyotes aparecieron en el mandala en algún momento de los 60 o 70, aproximadamente cien años después de que las dos especies autóctonas de lobo, el rojo y el común, desaparecieran. Más al oeste, los coyotes invasores se solaparon con los lobos en declive y puede que recibieran algunos genes de restos aislados de la población de lobos. Entre los primeros coyotes meridionales, muchos eran sorprendentemente rojos y grandes, lo que quizá apunte a una ascendencia mixta de coyote y lobo rojo. Los análisis del ADN de lobos y coyotes vivos, y de pieles de museo anteriores al avance de los coyotes, respaldan la idea de que estos se cruzaron tanto con el lobo rojo como con el común. Algo de sangre de lobo podría correr, pues, por las venas de los coyotes que aúllan junto al mandala.

La fluidez biológica permitió a los coyotes ocupar el hueco que dejó libre el lobo. A medida que los ciervos fueron abundando, los coyotes se extendieron más allá de los matorrales y entraron en el

bosque. Los coyotes del este son más grandes que sus antepasados del oeste y, en algunas áreas septentrionales, han limitado la dieta y han empezado a especializarse en ciervos. Los coyotes siempre se han alimentado de cervatos, pero estos coyotes nuevos más grandes cazan en manada y pueden derribar a un adulto sano. Parece que vuelve el espíritu del lobo, llevado por los cuerpos cambiantes de sus primos los coyotes y quizá con la ayuda de algunos genes descarriados de lobo.

La colonización del este por parte del coyote ha sido un baile con el bosque. La dieta y el comportamiento del cánido han cambiado y oscilado siguiendo el ritmo del este. Su pareja de baile, el bosque, ha añadido nuevos pasos y ha recuperado algunos movimientos antiguos y casi olvidados. Los ciervos tienen ahora un depredador salvaje, otra capa de peligro que añadir a la enfermedad, los perros asilvestrados, los coches y las armas de fuego. La dieta variada de los coyotes significa que su efecto en la coreografía del bosque no se limita a la depredación de ciervos. Las plantas que producen frutos tienen ahora un dispersor más, que puede transportar las semillas a muchos kilómetros de distancia. Los mamíferos pequeños viven atemorizados por el cánido salvaje. Los coyotes también merman las poblaciones de mapaches, zarigüeyas y, para desesperación de los propietarios de mascotas, gatos domésticos. Para las aves, la eliminación de estos pequeños omnívoros encierra un aspecto positivo imprevisto: las zonas con coyotes ofrecen a los pájaros cantores un entorno más seguro en que construir los nidos y criar a los polluelos.

La incorporación del coyote al elenco del bosque envía, pues, ondas y sacudidas en todas las direcciones. El depredador brinda seguridad a la presa de la presa. Sin duda otras partes del bosque también notan tirones. Debido a que el coyote va brincando por toda la red trófica –come frutos, mata roedores que comen frutos y come mapaches que comen frutos y roedores– los efectos ecológicos del cánido son difíciles de predecir. ¿Ayuda a la dispersión de semillas o la impide? ¿Cómo les va a las garrapatas con menos ratones y más

aves? El futuro del bosque depende, entre otras cosas, de las respuestas a esas preguntas.

Los coyotes nos instruyen asimismo sobre el pasado del bosque. Los bailarines originales, los lobos, han desaparecido, pero sus suplentes, los coyotes, nos dejan entrever la antigua gracia y complejidad del movimiento del bosque. Los ciervos también hacen de suplentes. No solo juegan su propio papel, sino que han asumido el del uapití, el tapir, el bisonte americano de bosque y otros herbívoros ya extinguidos. El triunfo del coyote y el ciervo en el este de Estados Unidos es, pues, tanto un síntoma de los profundos efectos de nuestra cultura sobre el bosque como un retorno a algo que se parece al elenco y la trama del continente antes de la llegada de los padres peregrinos, las escopetas y las motosierras.

Aunque el mandala se encuentra en un bosque primario, el fluir de la vida en este lugar se ve profundamente afectado por las corrientes que le llegan del paisaje circundante. El coyote debe su presencia en el mandala a la cascada de cambios que la colonización europea trajo a Norteamérica. Esa cascada también afectó a los ecosistemas acuáticos, y habría menos tritones en el mandala si los seres humanos no hubieran embalsado prácticamente todos los arroyos a su alrededor, lo que generó cantidad de estanques y lagos.

Los mandalas ecológicos no están aislados en pulcras salas de meditación, con la forma cuidadosamente dibujada y delimitada. En realidad, las arenas multicolores de este mandala se entremezclan con los cambiantes ríos de color que bañan todo el entorno.

8 DE AGOSTO

LA ESTRELLA DE TIERRA

El calor veraniego ha logrado que de las entrañas del mandala salga otra oleada de hongos. Las ramitas y la hojarasca están cubiertas de confeti naranja. De las ramas caídas sobresalen hongos en repisa estriados. Un higróforo naranja de aspecto gelatinoso y tres tipos distintos de setas de laminillas marrones se asoman por las grietas de la hojarasca. El miembro más vistoso de este ramillete de la muerte es la estrella de tierra incrustada entre montones de hojas. Su capa coriácea exterior se ha despegado formando seis segmentos, y cada segmento se dobla como el pétalo de una flor. En el centro de esta estrella marrón se encuentra una bola parcialmente desinflada con un orificio negro encima.

Paseo la vista por la superficie del mandala y me maravillo ante la profusión de hongos. Dos cúpulas en el borde del mandala acaban por llamarme la atención. Las esferas sobresalen de esa marea bajando que es la hojarasca en descomposición. Cambio de posición para verlas más de cerca. ¡Pelotas de golf! Igual que una lata de cerveza tirada en un arroyo o un chicle pegado a la corteza de un árbol, estas esferas de plástico parecen profundamente feas y fuera de lugar.

Las pelotas de golf han llegado volando desde los acantilados que dominan el mandala. Un amigo golfista me cuenta que golpear la pelota desde el borde del precipicio le da una sensación emocionante de poder. El campo de golf llega hasta el borde del precipicio, lo que sin duda brinda la posibilidad de darse ese capricho. La mayor parte de esas pelotas aterrizan al oeste del

mandala, donde los niños del lugar las recogen y llenan bolsas que vuelven a vender a los golfistas.

En el contexto de un bosque, las pelotas de plástico blancas y brillantes son visualmente sorprendentes. Sin embargo, también desentonan porque vienen de una realidad paralela. La comunidad del mandala surge del toma y daca de miles de especies; la comunidad ecológica de un campo de golf es un monocultivo de hierba extraña surgido de la mente de una sola especie. El campo visual del mandala está dominado por el sexo y la muerte: hojas muertas, polen, el canto de los pájaros. El campo de golf, en cambio, ha sido desinfectado por la puritana policía de la vida. El *green* se corta y alimenta para mantenerlo en una infancia perpetua: nada de tallos muertos, flores ni inflorescencias. El sexo y la muerte quedan borrados del mapa. Es un país extraño.

Me enfrento a un dilema: ¿debería llevarme las pelotas o dejarlas? Quitarlas de aquí rompería mi norma de no interferir en el mandala. Sin embargo, llevármelas devolvería el mandala a un estado más natural y podría dejar un hueco para otra flor silvestre o un helecho. Las pelotas de golf extraviadas no tienen nada que aportar al mandala. No se descomponen ni liberan nutrientes. No se convierten en el hábitat de otra especie. El grandioso ciclo de la energía y la materia parece detenerse cuando se topa con una pelota de golf perdida.

Mi primer impulso, por tanto, es restituir la "pureza" del mandala y llevarme las bolas de plástico. Sin embargo, ese impulso es problemático por dos razones. En primer lugar, no limpiará el mandala de desechos industriales: la acidez, el azufre, el mercurio y los contaminantes orgánicos llegan continuamente a través de la lluvia. Todas las criaturas del mandala llevan en el cuerpo, a nivel molecular, unas gotas ajenas de pelotas de golf. La industria incluso ha dejado su impronta en el código genético de los habitantes del mandala. Los insectos voladores, especialmente aquellos cuyos ancestros han convivido con personas, cuentan con genes de resistencia a muchos pesticidas. Quitar las pelotas de golf simplemente eliminaría el artefacto humano visualmente más

evidente de una amplia serie y mantendría la ilusión de que el bosque está nítidamente separado de la humanidad.

El impulso purificador puede estar equivocado en un segundo sentido, más profundo. Los artefactos humanos no son manchas que imponemos a la naturaleza. Verlo así abre una brecha entre la humanidad y el resto de seres vivos. Una pelota de golf es una manifestación de la mente de un primate africano juguetón e inteligente. A ese primate le encanta inventarse deportes para poner a prueba su habilidad física y mental. En general, juega a esos deportes en réplicas cuidadosamente reconstruidas de la sabana de donde vino el simio y por la que su subconsciente todavía suspira. El primate inteligente forma parte de este mundo. Tal vez lo que produce también forma parte de él.

A medida que estos hábiles primates van controlando mejor su mundo, producen algunos efectos colaterales no buscados, entre ellos las extrañas sustancias químicas, algunas de las cuales son venenosas para el resto de los seres vivos. La mayor parte de los primates no tiene mucha idea de estos efectos negativos. Sin embargo, a los que están mejor informados no les gusta que se les recuerde el impacto de su especie sobre el resto del mundo, especialmente en lugares que todavía no parecen demasiado dañados. Yo soy uno de esos primates. Por lo tanto, cuando mi mirada se cruza con una pelota de golf en el bosque, condeno mentalmente a la pelota, al campo de golf, a los golfistas y a la cultura que los engendró a todos.

No obstante, querer a la naturaleza y odiar a la humanidad no es lógico. La humanidad es parte del conjunto. Querer de verdad al mundo también es apreciar el ingenio y el carácter lúdico de los seres humanos. No hay que limpiar la naturaleza de artefactos humanos para que sea bella o coherente. Eso no quita que deberíamos ser menos codiciosos, descuidados, derrochadores y cortos de miras. Con todo, no convirtamos la responsabilidad en odio a nosotros mismos. Al fin y al cabo, nuestro mayor defecto es la falta de compasión por el mundo; y eso nos incluye a nosotros mismos.

Por lo tanto, decido dejar las pelotas de golf en el mandala. Seguiré llevándome objetos de plástico extraños del resto del bosque, pero no de aquí. Conservar una pátina de "naturalidad" a lo largo de los senderos y en los jardines tiene su valor. Nuestra mirada agobiada necesita un descanso de la producción industrial. Mantener los bosques limpios de basura es un símbolo de nuestro deseo de ser miembros más cuidadosos de la comunidad de seres vivos. Sin embargo, también es valiosa la disciplina de participar en el mundo tal como es, con sus pelotas de golf extraviadas y demás.

No obstante, el carácter completamente indigerible de las pelotas de golf parece una afrenta al resto de seres vivos del mandala. Estos objetos, en los siglos XVIII y XIX, eran biodegradables, ya que estaban hechos de madera, cuero, plumas y resina de árbol. Las bacterias o los hongos no pueden comerse las actuales pelotas "termoplásticas y iónicamente reforzadas". Cada año se fabrican mil millones de ellas. ¿Están todas destinadas a un breve paso por el green y a una vida eterna de basura? Yo diría que no exactamente. Las pelotas de golf del mandala seguirán hundiéndose en la hojarasca a medida que la materia biológica sobre la que descansan se descomponga. Dentro de pocos años, llegarán a la arenisca y quedarán depositadas entre las rocas amontonadas que hay debajo del mandala. Allí se convertirán en polvo termoplástico iónicamente reforzado. La escarpa en que nos encontramos retrocede hacia el este, de modo que las bolas se sumarán al lento rumor de la roca que se va pulverizando y también quedarán pulverizadas. Finalmente sus átomos se asentarán en una nueva roca, bien en una capa compactada de sedimento o en una charca caliente de magma. Contrariamente a lo que parece, las pelotas de golf no detienen el ciclo de la materia. Dan una forma nueva al petróleo y los minerales extraídos del suelo, vuelan brevemente y devuelven los átomos a su lento baile geológico.

Todavía hay otra posibilidad. Las estrellas de tierra y las setas que rodean a las pelotas de golf del mandala podrían encontrar una manera de digerir y reciclar el plástico de las bolas. Los hongos dominan la descomposición, de modo que la selección natural podría

producir una seta que comiera plástico. El plástico encierra cantidades enormes de materia y energía. El triunfo evolutivo aguarda al hongo mutante cuyos jugos gástricos sean capaces de liberar esos activos congelados e insuflarles vida. Los hongos y sus socios igualmente versátiles en el sector de la putrefacción, las bacterias, ya han demostrado que son capaces de sacar partido de otras innovaciones industriales como el petróleo refinado y los vertidos de las fábricas. Las pelotas de golf podrían ser el próximo gran avance. "¿Me escuchas? Plásticos. Hay un gran futuro en los plásticos".

26 DE AGOSTO

EL SALTAMONTES LONGICORNIO

¡Cha cha! ¡cha cha! Todo el bosque vibra.

Anochece y el mandala está oscuro, desenfocado, con zonas de luz y de sombra. A medida que la luz pierde intensidad, el coro retumba con más fuerza. *¡cha cha! ¡cha cha!*: el ritmo binario de miles de saltamontes longicornios que cantan desde los árboles. De vez en cuando se destacan las notas aisladas de un cantante en concreto, pero la mayor parte de tripletos y duetos individuales se funden con el canto de los demás: *¡cha!* Los insectos le preguntan al bosque y después responden –suena como *"ka-ty-did? she didn't!"*–, paran y entonces vuelven a preguntar y a responder. Las exclamaciones chocan entre sí y se funden en un redoble ensordecedor. El ritmo se mantiene durante un minuto o más, se rompe en un barullo de cantos no sincronizados y finalmente se recupera el unísono.

El estrépito es la expresión acústica de la gran productividad del bosque. La energía solar convertida en energía arbórea convertida a su vez en la energía de los saltamontes longicornios. Los jóvenes saltamontes se alimentan de hojas durante el verano y van creciendo poco a poco hasta llegar a adultos del tamaño de un pulgar. El gran vigor de las plantas del bosque se traduce en explosiones sonoras espectaculares. El nombre científico del saltamontes longicornio expresa esa conexión, *Pterophylia camellifolia*, el ala-hoja de camelia. El follaje no solo alimenta la vida del saltamontes y es la base a partir de la cual esta se construye, sino que el insecto es clavado a una hoja.

Los saltamontes longicornios cantan con las alas. Una cresta ondulada llamada cuerpo recorre la base del ala izquierda, justo debajo de la cabeza. En el ala derecha, frente al cuerpo, se encuentra un nudo. El insecto rasguea esas bases de ala la una contra la otra y pasa el nudo como una púa sobre el cuerpo, lo que produce un zumbido. Los saltamontes longicornios no son un grupo *amateur* que rasguea instrumentos improvisados: modulan la intensidad, el ángulo y la duración de los rasgueos como lo haría un virtuoso del violín con el arco. Su velocidad eclipsaría a los maestros de las salas de conciertos y a los guitarristas campeones de *flatpicking*. Algunas especies rasgan más de cien veces por segundo lo que, combinado con las protuberancias densamente dispuestas de sus cuerpos, produce cincuenta mil pulsaciones de sonido por segundo, muy por encima de los límites del oído humano. Los saltamontes longicornios del mandala son rasgadores más sosegados, ya que emiten solo de cinco a diez mil ondas sonoras por segundo. Estas notas son más agudas que las notas más agudas de un teclado de piano, pero son lo suficientemente graves para que nuestro oído pueda percibir su chirrido.

El cuerpo y la púa del saltamontes longicornio no trabajan solos. El secreto de su estruendo se esconde en una zona del ala que funciona como la piel de un banjo y hace que resuenen y se amplifiquen las vibraciones de la púa. Esa piel está tensada de tal forma que su tono retumbante es distinto de la nota que produce el cuerpo. Esta afinación desigual produce un choque de vibraciones que, combinadas, generan el zumbido disonante del saltamontes longicornio. La piel de los grillos, a diferencia de la de sus primos los saltamontes, está perfectamente sintonizada con sus cuerpos, lo que les permite entonar notas melodiosas sin que las ensucien unos tonos laterales discordantes.

Como el de los seres humanos y el de muchas aves, el canto de los saltamontes longicornios viene en dialectos regionales. Los saltamontes del norte y del medio oeste cantan despacio y con dos o tres sílabas. *Ka-ty, Ka-ty-did, she did-n't*. Los meridionales añaden más sílabas y cantan mucho más rápido. *Ka-ty-did-n't, she-did-n't,*

did-she, ka-ty-did. En el oeste, los saltamontes cantan despacio y solo con una o dos sílabas. *Ka-ty, did, did, ka-ty*. Es evidente que la historia de Katy que los anglófonos oyen en el canto del saltamontes puede interpretarse de muchas maneras. Desconocemos la función o las consecuencias de estos acentos regionales. ¿Tal vez los dialectos adaptan el canto a las características acústicas de los distintos bosques? ¿O quizá sean el reflejo de diferencias ocultas en las preferencias de las hembras de distintas regiones, diferencias que podrían evitar el cruce entre poblaciones con adaptaciones ecológicas distintas?

Los estallidos mortecinos y breves de las cigarras van salpicando el coro de saltamontes longicornios. Las cigarras son los cantantes de las tardes abrasadoras y ceden el predominio acústico a medida que anochece. El chirrido interminable de las cigarras viene de un aparato que es todavía más extraño que la púa, la cresta y el tambor del saltamontes longicornio. A cada lado del cuerpo de la cigarra se encuentran unos discos, incrustados en el duro esqueleto externo, parecidos a ojos de buey provistos de densas rejas. Los barrotes son puntales rígidos que se mueven lateralmente. Cuando un músculo tira del disco, los pilares se mueven en cascada, lo que produce un trino, y después todos los barrotes vuelven a su sitio a medida que el músculo se relaja. El ruido de cada movimiento y cada regreso a la posición inicial se amplifica a través de membranas y de un saco lleno de aire que hay dentro del cuerpo de la cigarra. Estos discos ondulados, que se conocen como timbales, son únicos en el mundo animal.

Tanto las cigarras como los saltamontes longicornios consiguen la energía de las plantas. Las larvas de cigarra son parásitos subterráneos de los árboles que succionan savia de las raíces y viven como topos provistos de jeringas. A diferencia de los saltamontes, que crecen rápido, las cigarras jóvenes tardan varios años en alcanzar la madurez. El coro de cigarras de esta noche lo ha alimentado por tanto la savia de cuatro o más años, y lo entonan topos que han salido de sus madrigueras y han trepado a los árboles.

Las hembras de saltamontes longicornios y cigarras vagan por las copas de los árboles, sin aportar un ruido propio, pero atentas al coro de machos. Los saltamontes oyen a través de unos nervios de las patas, mientras que las cigarras cuentan con órganos auditivos en el abdomen. Si los machos cantan suficientemente fuerte o son lo suficientemente rápidos para dirigir el coro, la oyente se acerca, escucha un poco más y finalmente se aparea.

Cuando los saltamontes longicornios macho y hembra se entrelazan, él no solo le entrega a ella una pequeña bolsa de esperma, sino también un gran "regalo nupcial" en forma de alimento. Esta bolsa de comida normalmente equivale a una quinta parte del peso corporal del macho. La fabricación de la bolsa es tan agotadora que la mayor parte del abdomen del macho está lleno de glándulas destinadas a esa finalidad. La función del regalo varía según la especie. En algunos saltamontes, el macho proporciona alimento con el que la hembra produce huevos. En otras especies, el regalo alarga la esperanza de vida de la hembra.

Para desgracia de los saltamontes cantores, en el bosque no solo los oyen las hembras de su especie. Cantar sin duda aumenta el riesgo de ser descubierto por un ave. Los cucos son especialmente aficionados a cazar saltamontes longicornios. Sin embargo, el enemigo más abundante y peligroso de los saltamontes cantores son las moscas taquínidas. Estos animales con púas se alimentan de néctar cuando son adultos, pero sus larvas parasitan a otros insectos. Varias especies de taquínidos están especializadas en los saltamontes longicornios y disponen de oídos específicamente sintonizados con el canto de su huésped preferido. La madre mosca escucha a escondidas, se dirige hacia su presa, aterriza cerca de ella y deposita una generación de larvas que se retuercen. El enjambre de larvas se lanza contra la víctima y horada su cuerpo. Igual que las avispas icneumonoideas dentro de la oruga, las larvas de mosca consumen lentamente el saltamontes longicornio desde dentro hacia fuera. La estrategia relámpago de las madres mosca se guía solo por el sonido, de modo que el parasitismo de los taquínidos es un lastre

con el que cargan casi exclusivamente los saltamontes longicornios machos.

La oscuridad se va extendiendo. Las cigarras guardan por fin silencio y abandonan el coro hasta mañana, cuando el calor del día las despierte. Otras especies de saltamontes longicornio se unen al canto. Los *Microcentrum retinerve* sueltan estallidos de ruido áspero como si fueran maracas arbóreas. Destacan entre el coro los chirridos y zumbidos de otras especies, lo que da una idea de la diversidad de filófagos que tengo encima.

A medida que anochece, el sentido de la vista me falla, y el bosque se hincha a mi alrededor en forma de olas oscuras que al fin se funden en la negrura.

Solo queda el estruendo exultante del bosque: *¡CHA CHA! ¡CHA CHA!*

21 DE SEPTIEMBRE

LA MEDICINA

Siento una profunda sensación de bienestar bajo el intenso sol de la mañana. Me ha levantado el ánimo contemplar a una docena de currucas migratorias bañándose en el arroyo que atraviesa el camino al mandala. Estaban en los charcos superficiales del arroyo y se zambullían y se sacudían con las plumas ahuecadas. Cada pájaro levantaba una aureola de gotas plateadas y centelleantes. Daba la impresión de que se bautizaban con la luz del sol.

El gozo desenfrenado de los pájaros me ha complacido en particular porque este mismo arroyo me trajo muchos problemas últimamente. Hace dos días, en el camino de vuelta del mandala, me encontré el arroyo revuelto: todas las piedras estaban del revés o las habían arrojado a un lado. No era la primera vez que pasaba: vienen cazadores furtivos, cogen todas las salamandras que pueden y se las llevan para utilizarlas como cebo. El arroyo estaba destrozado. Las salamandras del bosque iban a morir en anzuelos o en cubos de carnada apestosos. Sentí asco y una ira visceral. Seguí adelante y la cólera crecía y se enroscaba en sí misma. Subí por la ladera a paso de carga y la cabeza no me paraba de dar vueltas. Al llegar al pie del acantilado, la tensión se desató: el corazón me empezó a fibrilar y gritaba de dolor una y otra vez con cada latido.

Siguió un complicado trayecto en bici hasta el pueblo y algunas horas en el hospital con medicamentos por vía intravenosa. En un par de horas se me recuperó el corazón y, tras un día de descanso, he vuelto al bosque. Hoy por tanto la belleza refulgente de las currucas me parece especialmente entrañable, quizá incluso redentora.

Llegado al mandala, miro a las plantas de otra forma. Además de una comunidad ecológica, ahora veo una farmacopea. Esta nueva manera de ver las cosas me ha venido sugerida por los medicamentos que me dieron en el hospital, que en ambos casos derivaban de plantas. La aspirina, que originalmente estaba compuesta de corteza de sauce y de reina de los prados, se coló en mis células y, como las sustancias químicas de las mordeduras de mosquitos y garrapatas, inhibió los procesos que hacen que la sangre se coagule. El digitalis, hecho de hojas de dedalera, se unió a las células de mi corazón, lo que alteró el equilibrio químico e hizo más fuertes y seguros los latidos.

En la habitación del hospital, en un primer momento me sentí separado de la naturaleza, pero se trataba de una ilusión. Los zarcillos de la naturaleza se metieron en la habitación y llegaron hasta mí a través de las pastillas. Las plantas se entrelazaron en mi interior, y sus moléculas encontraron y agarraron las mías en un estrecho abrazo. Ahora veo esas conexiones en el mandala: todas las especies rebosan potencial medicinal. Aquí no crecen el sauce, la reina de los prados y la dedalera, pero las plantas del mandala tienen sus propias virtudes curativas.

El podofolio es una de las plantas más comunes en esta ladera de la montaña, y sus hojas parecidas a un paraguas asoman desde distintos lugares del mandala. Las hojas de podofolio, que llegan a la altura de los tobillos, crecen de unos tallos subterráneos en el suelo del bosque, que progresan luego horizontalmente y echan ramas a través de la hojarasca, extendiéndose poco a poco hasta que crecen docenas de hojas en una superficie que puede ocupar varios metros de punta a punta. Hace mucho tiempo que los indios americanos conocen las poderosas propiedades de la planta. En dosis muy pequeñas, se utilizaba su extracto como laxante y para matar a los parásitos intestinales; las dosis más altas, que serían mortales si las ingiriera una persona, se echaban al maíz recién sembrado para proteger a la semilla de vacas e insectos.

Los estudios actuales sobre el podofolio han descubierto que las sustancias químicas de la planta pueden matar virus y células

cancerosas. Hoy en día el extracto de podofolio se utiliza en pomadas contra las verrugas de origen vírico y, después de modificar el extracto en un laboratorio, como quimioterapia contra el cáncer. Estos medicamentos no podrían existir sin el podofolio. Menos obvia es su dependencia de otros miembros de la comunidad del bosque. Los abejorros vuelan por debajo de las hojas para alcanzar las flores blancas inclinadas y polinizan el podofolio. Más entrado el verano, las flores se convierten en pequeños frutos amarillos del tamaño de un limón pequeño, las "manzanas" por las que en inglés la planta recibe el nombre de *mayapple*. Las tortugas de caja tienen una extraordinaria afición por estos frutos maduros: los encuentran husmeando, los devoran y después se marchan con la barriga llena de semillas de podofolio. Sin pasar por los intestinos de una tortuga, las semillas no suelen llegar a germinar. Los manuales farmacéuticos no se ocupan de la ecología de los abejorros y las tortugas del bosque, aunque la práctica de la medicina necesita estas especies.

Otra especie de esta zona con propiedades medicinales importantes es la *Dioscorea villosa*. No está dentro del círculo del mandala, pero crece un poco por todos lados, especialmente en las zonas más húmedas y sombrías del bosque. La *Dioscorea villosa* crece en forma de parra y envuelve con su tallo fino las matas y árboles pequeños a medida que va trepando hasta la altura de la cabeza o más. El tallo y las hojas en forma de corazón son delicados y no sobreviven a heladas fuertes, así que la planta invierna bajo la hojarasca en forma de tubérculos parecidos a dedos. Estos tubérculos son ricos en sustancias químicas estructuralmente similares a las hormonas humanas, incluida la progesterona. Ese hecho no les pasaba por alto a los indios americanos, que utilizaban esta planta para aliviar los dolores de parto. Más adelante, en la década de 1960, las primeras píldoras anticonceptivas se fabricaron modificando químicamente extractos de los tubérculos. También se dice que la *Dioscorea villosa* ayuda a bajar el colesterol, a reducir la osteoporosis y a aliviar el asma, aunque las pruebas de estas propiedades son objeto de debate.

Es fácil encontrar podofolio y *Dioscorea villosa* en este bosque. Otra especie medicinal silvestre, el ginseng, desgraciadamente no es tan común. La suerte que ha corrido nos sirve de aviso ante la sobreexplotación de plantas silvestres que tienen alguna utilidad. El ansia humana por las propiedades estimulantes y curativas del ginseng es tan grande que se ha despojado la mayor parte del este de Norteamérica de esta hierba antaño abundante. A mediados del siglo XIX, Estados Unidos exportaba anualmente entre 250.000 y 350.000 kilos de ginseng. El consumo interno debe de haberse movido en cifras parecidas. Actualmente, la exportación anual es inferior a una décima parte de lo que fue en su día debido a la poca abundancia de la planta. A pesar de que el gobierno federal y los gobiernos estatales han regulado la cosecha de ginseng, la demanda de *sang*, como se lo conoce aquí, crece. A unos pocos kilómetros carretera abajo del mandala, hay tratantes que montan puestos de temporada en las principales intersecciones de carreteras y compran las raíces a "cavadores" del lugar. Esas raíces secas llegan a los quinientos dólares o más el medio kilo, un precio que da buenos motivos para buscar más plantas. Para los cavadores expertos la cosecha representa una oportunidad económica importante en un contexto local difícil.

La escasez de ginseng ha llevado a algunos tratantes y cavadores con visión de futuro a empezar a cultivar poblaciones semisilvestres de la planta sembrando semillas en el bosque mientras buscan raíces. Igual que las tortugas de caja que transportan semillas de podofolio, los seres humanos han asumido el papel de dispersores de semillas. Esta tarea antes la realizaban las aves, especialmente los zorzales, que consideran las bayas rojo rubí del ginseng como un sabroso tentempié de finales de verano. Afortunadamente para los sembradores humanos, las semillas de ginseng son menos exigentes que las de podofolio y germinan sin tener que pasar por el intestino de un ave. A día de hoy desconocemos si estos esfuerzos de siembra pueden revertir la tendencia a la disminución del ginseng; la mayoría de los botánicos siguen muy preocupados por el futuro de la especie.

El ginseng, la *Dioscorea villosa* y el podofolio son todas plantas pequeñas que inviernan como nutritivos tallos subterráneos o raíces. Esta forma de vida que comparten explica por qué son tan ricos en sustancias químicas medicinales. A diferencia de los animales de movimientos rápidos o de los árboles provistos de cortezas gruesas, estas plantas inmóviles y de piel fina son muy vulnerables al ataque de mamíferos e insectos. Los almacenes de alimento que esconden bajo tierra son especialmente atractivos para los aspirantes a depredadores. Como carecen de la capacidad de huir o de protegerse tras muros macizos, su única posibilidad defensiva es impregnar su cuerpo de sustancias químicas que causan estragos en los intestinos, nervios y hormonas de sus enemigos. Debido a que la selección natural ha diseñado las sustancias químicas defensivas específicamente para atacar la fisiología de los animales, esos venenos pueden convertirse, debidamente manipulados por manos humanas expertas, en medicinas. Solo con encontrar la dosis correcta, los herbolarios pueden convertir el arsenal defensivo de las plantas en una colección impresionante de estimulantes, purgantes, anticoagulantes, hormonas y otros medicamentos.

Las plantas medicinales del mandala y los medicamentos que corren por mis venas representan a un grupo mucho más grande: una cuarta parte de las recetas médicas prescriben medicinas directamente derivadas de plantas, hongos y otros organismos vivos. Muchas de las recetas restantes consisten en modificaciones de sustancias químicas que originalmente se encuentran en especies silvestres. Sin embargo, no comprendemos bien el complejo mundo químico de las especies del mandala. De los millares de moléculas que componen las dos docenas de especies de plantas que se pueden ver aquí, solo un puñado se ha investigado a fondo en el laboratorio. Otras todavía tienen que examinarse a pesar de su uso tradicional como hierbas medicinales. La diversidad bioquímica invisible del mandala encierra mucho potencial aún por explorar.

Mi experiencia con los medicamentos botánicos me ha enseñado que el parentesco con los habitantes del mandala llega hasta la escala diminuta de las moléculas. Hasta entonces para mí el

parentesco significaba fundamentalmente una genealogía compartida en un árbol evolutivo y unas relaciones ecológicas interconectadas. Ahora entiendo lo íntimamente que mi ser físico está ligado a la comunidad de la vida. En el marco de la vieja lucha bioquímica entre plantas y animales, estoy vinculado al bosque a través de la arquitectura de mis moléculas.

23 DE SEPTIEMBRE

LA ORUGA

Las currucas que emigran se arremolinan en los árboles del mandala y se cuelan por las ramas en sucesivas oleadas. Una reinita de Tennessee, de vuelta de su zona de reproducción en los bosques septentrionales, desciende hasta un arce joven y bajo en el borde del mandala y rastrea las hojas en busca de alimento. El pájaro todavía tiene que volar tres mil kilómetros antes de llegar a su hogar invernal en el sur de Centroamérica. Alimentarse es una cuestión urgente.

El estado de las hojas de encima del mandala da pistas acerca de las fuentes de alimento de las currucas. Todas están acribilladas, con diez o más agujeros irregulares cada una. La mayoría de las hojas ha perdido casi la mitad de su superficie. Las orugas del mandala han convertido esas hojas veraniegas en carne de insecto y esa carne, a su vez, abastecerá de combustible el largo viaje de las currucas.

Las orugas tienen fama de glotonas. A lo largo de su vida multiplican su peso por dos mil o tres mil. Si un bebé humano hiciera otro tanto, en la madurez pesaría nueve toneladas, el peso combinado de varias bandas de música. Y si el bebé siguiera el ritmo de la oruga, la madurez llegaría al cabo de unas pocas semanas del nacimiento.

Las orugas crecen rápido porque su ser se vuelca en una sola actividad: comer hojas. A diferencia de los insectos adultos, a ellas no les crecen esqueletos externos duros, alas, patas complejas, órganos sexuales ni sistemas nerviosos intrincados. Tales accesorios

desviarían la atención de la oruga y ralentizarían su crecimiento. Los pelos defensivos son el único detalle no relacionado con la glotonería que ha permitido la selección natural. Al especializarse en la tarea de darse festines, las orugas han montado un negocio en el que tienen pocos rivales. En la mayoría de los bosques consumen más hojas que el resto de herbívoros sumados.

Una oruga gorda de limántrido entra lentamente en el mandala: toda ella es un carnaval de plumas y pelos de colores, y su vistosidad anuncia el peligro de los pelos que pican y de los venenos internos. De la espalda le salen cuatro mechones amarillos como brochas de afeitar apuntando al cielo, entre una bruma de pelos largos y plateados que brotan de cada segmento del cuerpo. Dos matas negras de pelo sobresalen de cada lado de la cabeza y la punta de la cola está provista de un grupo de púas marrones. Donde se la puede ver a través de la bruma de pelos, la piel de la oruga tiene rayas amarillas, negras y grises: un atuendo precioso y temible.

Los limántridos adultos no se exponen al peligro comiendo hojas a la vista de todos. Por lo tanto, pueden lucir colores discretos. La hembra sale del capullo oculto, se aferra a él y espera a que llegue un macho. No puede volar y parece un saco de dormir peludo. Al no tener necesidad de dar una vuelta, no debe anunciar lo desagradable que es y puede confiar en el camuflaje para protegerse. El macho adulto, en cambio, es un buen volador. Husmea las feromonas femeninas con sus antenas plumosas, se aparea con la hembra y después se va volando. Ambos sexos son de unos colores poco llamativos, marrón y gris, protegidos por la inmovilidad total de la hembra y las vigorosas alas del macho. Igual que en el caso de muchas otras mariposas nocturnas, el pincel de la selección natural ha pintado un joven audaz y un adulto arisco.

Mientras observo a la oruga chillona, una hormiga negra trepa a su espalda, metiéndose entre los pelos como alguien que se abriera camino entre una maraña de bambú. La hormiga aprieta las mandíbulas y se esfuerza en llegar al cuello de la oruga. Esta sigue adelante, aparentemente impasible ante la atacante. La hormiga

vuelve hacia detrás desde el cuello y muerde entre los mechones amarillos, pero de nuevo no alcanza a la piel. Entonces otra hormiga, más pequeña y de color miel, sube a bordo y se une al ataque. Las hormigas coinciden y luchan entre ellas, forcejeando sobre una maraña de pelos amarillos. La hormiga color miel cae, vuelve a encaramarse, cae de nuevo y la sigue la hormiga negra. La oruga echa a correr, quizá en un intento de escapar, pero las hormigas la cercan. La hormiga negra embiste a la oruga y ataca de nuevo, mordiendo en repetidas ocasiones, pero sin llegar a dar con la piel blanda. La hormiga cae y la oruga enseguida trepa a una hoja muerta que se arquea por encima del suelo del bosque. La oruga se detiene. ¿Está dando muestras de una mayor habilidad? Las hormigas dan vueltas por el suelo pero no logran encontrar a la víctima. Los círculos acaban por llevarlas lejos de la hoja. La oruga baja y avanza pesadamente hacia el tronco de un gran arce justo fuera del mandala. Por fin libre.

Una oruga de limántrido más pequeña no ha tenido tanta suerte. Las hormigas arrastran su cadáver para alimentar a sus compañeras de hormiguero. ¿Quizá los pelos de esta oruga eran demasiado cortos o sus maniobras evasivas demasiado lentas? Sea cual fuere la causa de su muerte, ahora se une a un cortejo fúnebre de orugas muertas que fluyen hasta las fauces de las colonias de hormigas del mandala y aledaños. Un estudio contabilizó que cada día entran en un hormiguero más de veinte mil orugas. Hasta ser testigo de la refriega de la oruga en el mandala suponía que las aves eran los responsables de que las orugas fueran peludas. Sin embargo, evidentemente los pelos también mantienen las mandíbulas de las hormigas lejos de la piel de las orugas. La literatura científica confirma lo que hoy he observado: las hormigas son uno de los principales enemigos de la mayor parte de las orugas.

Un grupo de mariposas le ha dado la vuelta a esta relación hostil con las hormigas. Los licénidos han desarrollado una relación de dependencia con las hormigas. Las orugas de los licénidos no tienen pelos y son extremadamente vulnerables a los ataques de las hormigas. No obstante, en general las hormigas no las muerden,

sino que prefieren alimentarse de la dulce "ligamaza" que las orugas segregan para ellas. Ese regalo de las orugas a las hormigas es tal vez cercano al dinero en concepto de protección propio de la mafia. Al precio de un poco de azúcar, las hormigas dejan tranquilas a las orugas. Sin embargo, las hormigas no se limitan a dejar de atacar a cambio de alimento: protegen activamente a las orugas y rechazan a otros depredadores, sobre todo avispas. De modo que quizá una analogía más ajustada sería que las hormigas se contratan de guardaespaldas. Las hormigas proporcionan a las orugas de licénidos un índice de supervivencia diez veces mayor respecto a las orugas que no cuentan con su asistencia. Parece que las orugas prefieren vivir con las hormigas y algunas tienen unas espátulas especiales que les sirven para producir vibraciones en las hojas. Con ellas atraen a las hormigas, así que las orugas les cantan literalmente a sus guardias.

Después de librarse de las hormigas, la oruga de limántrido sube a un tronco de arce. Allí no hay hormigas, pero las arañas han pintado la mayor parte del tronco con filamentos pegajosos, y a la oruga le cuesta abrirse paso. Los trozos musgosos, todavía húmedos de la lluvia de anoche, también le cuestan. Los pequeños ganchos de las patas de la oruga pierden adherencia y el animal cae desde una altura de varios centímetros antes de volverlo a intentar.

La ascensión de la oruga la lleva a un mundo dominado no por las hormigas, sino por las aves. Las hormigas encuentran a sus presas a través del tacto y el olfato, mientras que los pájaros se sirven de la vista. Los pigmentos y los patrones son por tanto de vital importancia para ahorrarse las atenciones de los pájaros. Como los seres humanos somos tan visuales, nos fascina la extraordinaria diversidad del arte de las orugas. Estos bichos tienen un lugar destacado en los cuentos infantiles, y muchos naturalistas deben algo de su amor por la naturaleza al encanto de las orugas. En cambio, las larvas de las moscas, las avispas y los escarabajos viven ocultas a la mirada aguda de nuestros primos aviarios, de modo que su aspecto, de blanco pálido, no nos atrae demasiado.

La oruga de limántrido del mandala utiliza un contraste fascinante entre amarillo intenso y negro para anunciar que es un mal bocado. Las matas de pelo amarillo chocan de forma sorprendente en cuanto a la textura con los pelos plateados y espinosos que le cubren el resto del cuerpo. El despliegue no deja dudas en el observador de que el animal está abundantemente provisto de espinas, pelos y toxinas. Ante tal despliegue, la mayoría de pájaros ni siquiera le darán un picotazo. Otras orugas pinchudas o venenosas llevan disfraces parecidos, y cada especie compone sus propias variaciones sobre los temas del color y el contraste.

Las orugas que carecen de espinas o de defensas químicas nocivas engañan en lugar de anunciar. Imitan excrementos de pájaro, hojas muertas, ramitas, pequeñas serpientes o salamandras venenosas. La selección natural tuvo mucha mano al producir a estos animales y puso brotes a los imitadores de ramitas, dotó a los imitadores de serpientes de ojos con falsos reflejos en las pupilas y añadió pequeños excrementos a la superficie de los imitadores de hojas.

La mirada de las aves no se ha apartado de las orugas durante millones de años, lo que ha convertido los cuerpos de las orugas en obras maestras del diseño gráfico. Sorprendentemente, esa mirada todavía ha moldeado más cosas. Incluso la pauta de luz que definen las hojas mordisqueadas del mandala está conformada por la afinada vista de los pájaros. Las aves que buscan alimento llegan a asociar los agujeros irregulares de las hojas con la presencia de orugas. Al quedar dañadas las hojas mucho tiempo después de que las orugas se hayan marchado, los pájaros actualizan continuamente sus pautas de alimentación a partir de la experiencia reciente de alimentarse en unas especies de árboles concretas. Las orugas que hacen agujeros obvios en las hojas y que después se quedan un rato atraen rápidamente la atención de estos pájaros sagaces. Por lo tanto, solo las orugas bien protegidas pueden permitirse comer sin modales. Las orugas más vulnerables a los pájaros, como las que tienen pocos pelos, recortan las hojas por los bordes meticulosamente, sin agujeros que las delaten y manteniendo la

silueta de la hoja entera. Algunas orugas que imitan hojas introducen el cuerpo en los bordes de la hoja que ya se han comido, con lo que rellenan el contorno de la hoja y engañan la vista de los depredadores. Las hojas de encima del mandala llevan las marcas irregulares de la despreocupación, y sospecho que la oruga de limántrido y sus parientes son los culpables de la mayor parte de los daños.

La vista de los pájaros ha esculpido y pintado el mandala. La forma tanto de la oruga mordisqueadora como de la hoja mordisqueada es un reflejo de la lucha evolutiva entre orugas y pájaros. Las currucas emigran y parecen efímeras, pero su presencia también se nota después de su partida física.

23 DE SEPTIEMBRE

EL BUITRE

Al estudiar las hojas mordisqueadas del dosel, he dirigido la vista hacia el cielo. El dosel veraniego suele estrechar mi mundo y me guía la mirada hacia abajo, pero hoy puedo ver a través de las grietas en el techo de árboles. Una fuerte tormenta que estuvo activa todo el día de ayer ha limpiado el cielo de polvo y lo ha dejado de un azul vítreo. La humedad veraniega ha aflojado y el calor del día se hace más llevadero. Es el típico tiempo de septiembre: largos periodos de cielo despejado interrumpidos por frentes tempestuosos y cálidos que a menudo son restos de tormentas tropicales del golfo de México.

Hoy un buitre americano cabecirrojo vuela en círculos justo encima del mandala, con las anchas alas tendidas como velas imperturbables contra el cielo. Después de un giro, el buitre vuela hacia el este, empujado por una corriente de aire repentina.

El mandala está situado tan al sur como para que aquí se encuentren buitres americanos cabecirrojos todos los meses. En esta época del año, las aves de la zona se mezclan con otras llegadas del norte que emigran a través de Tennessee para invernar en la costa del golfo de México y Florida. Algunos pájaros inviernan todavía más al sur y viajan hasta México y aún más lejos. Esas aves migratorias de larga distancia estarán acompañadas: los buitres americanos cabecirrojos son residentes habituales de América central y del sur, lo que los convierte en una de las especies de aves de distribución más amplia en el nuevo mundo.

A diferencia de la mayor parte de las aves voladoras, los buitres cabecirrojos son fáciles de identificar, incluso a distancia. Extienden las alas en una uve poco profunda, con las puntas de las alas hacia arriba, como un corchete ondulado llevado por el aire }. Vuelan con andares de borracho, bamboleándose y ladeándose a medida que avanzan. Esa aparente falta de sobriedad tiene una explicación aerodinámica: los buitres americanos cabecirrojos son maestros del planeo: rara vez baten las alas y casi nunca más de diez veces seguidas. Para dejarse llevar por el viento con tanta soltura y ahorro de energía, las grandes alas parecidas a remos captan las corrientes ascendentes y los remolinos, y sacan partido de cualquier soplo de aire que suba. Esto genera una forma de volar lenta y con balanceo cuya aparente falta de elegancia esconde una eficiencia extraordinaria. El borracho es un genio del ahorro que no necesita maniobrabilidad, gracia ni velocidad. Los buitres cabecirrojos pasan los días oteando sus dominios sin prisas, surcando los cielos hasta un tercio de las horas que están despiertos.

Los buitres cabecirrojos no comen más que carroña y su forma frugal de volar les permite inspeccionar cada día muchos miles de hectáreas en busca de cadáveres. En las zonas arboladas, donde mayoritariamente se alimentan, el dosel arbóreo tapa la vista, pero incluso con la línea visual despejada es difícil detectar los cuerpos inmóviles cubiertos de piel de camuflaje. Sin embargo, los buitres cabecirrojos los descubren con meticulosidad y precisión. Los pollos y las ratas muertas que los científicos dejan expresamente en el bosque los suelen encontrar al cabo de un día o dos, incluso cuando el cebo está cubierto de hojas o maleza. Es evidente que husmean el alimento y que sus anchas narinas les sirven para distinguir entre los colores confusos del bosque.

Encontrar un cadáver apestoso por el olor no es precisamente una gesta admirable, pero los buitres hacen bastante más que eso. De hecho, la carne demasiado putrefacta no es muy de su gusto. Lo que buscan los buitres cabecirrojos cuando surcan los cielos es el sutil olorcillo de la muerte reciente. A diferencia de la descarga fétida de un cuerpo en descomposición, el olor de la carroña fresca es

ligero, compuesto de unas pocas moléculas exhaladas por microbios y por el propio cadáver que se va enfriando. Los buitres captan esas bocanadas, las siguen hasta el suelo y localizan su destino entre los miles de hectáreas de su campo visual.

En el mundo moderno, el olfato de los buitres americanos cabecirrojos a veces los conduce a vías muertas (esta vez en sentido figurado). Vuelan en círculos por encima de los mataderos que, a pesar de parecer naves industriales normales, envían al cielo el aroma de los difuntos recientes. Los gasoductos son una fuente de frustración parecida. Las compañías de gas añaden una pequeña cantidad de una sustancia química olorosa llamada etanotiol al gas natural inodoro de las tuberías de distribución. Si falla una válvula o una juntura de tubería, la sustancia maloliente se filtra junto al gas natural y nos alerta del peligro de explosión. Sin embargo, los buitres también huelen el escape y se reúnen alrededor de las tuberías agrietadas, lo que los convierte en ayudantes involuntarios en la búsqueda de defectos en los gasoductos. Este enredo de los olfatos de buitres y seres humanos lo provoca el aroma de la muerte; los cadáveres desprenden etanotiol de forma natural. Debido a que las personas sentimos una profunda aversión por la carne podrida, nuestro olfato es extremadamente sensible al etanotiol. Somos capaces de identificar su olor en concentraciones doscientas veces más bajas que nuestro umbral para el amoníaco, que además tiene un olor muy fuerte. Las compañías de gas solo necesitan añadir unas cantidades minúsculas de la sustancia maloliente a sus tuberías. Para desgracia de los buitres cabecirrojos, ellos también huelen esas concentraciones bajas y se agrupan confundidos en torno a los escapes.

Los buitres americanos cabecirrojos purifican el bosque oficiando los últimos ritos ecológicos y acelerando la transformación material de animales grandes de cadáver a nutrientes liberados. Su nombre científico lo reconoce: *Cathartes*, el purgador.

El papel aparentemente humilde de comecadáveres nos parece sumamente desagradable. Sin embargo, el bosque está plagado de

competencia por lo que nosotros desdeñamos. A veces los zorros y mapaches roban la carroña antes de que los buitres puedan llevarse un bocado. Los buitres negros americanos la toman con los cabecirrojos, sus primos más grandes, y los alejan del alimento. Los escarabajos *Nicrophorus* arrastran y sepultan los cadáveres más pequeños.

Los mamíferos, las aves y los escarabajos son rivales, pero su importancia competitiva palidece si los comparamos con los necrófagos microscópicos, las bacterias y los hongos. Estos microbios empiezan a trabajar a partir del momento de la muerte y digieren los animales desde dentro y desde fuera. En un principio, esta descomposición ayuda a los buitres, porque libera columnas de olor que guían a las aves desde el cielo. Una vez ante el animal muerto, sin embargo, los buitres compiten con los microbios por comérselo. Cuando hace calor, los microbios ganan la competición en unos pocos días; los buitres tienen que darse prisa si quieren alimentarse bien.

Los microbios disponen de métodos competitivos más directos que la mera rapidez de acción. No es casualidad que la mayoría de los animales enfermen si comen carne podrida; en parte esa enfermedad la provocan los venenos que los microbios segregan para defender su alimento. Una "intoxicación alimentaria" es quedarse atravesado en la alambrada que los microbios han levantado alrededor de su territorio. Nuestros gustos han cedido a la voluntad evolutiva de los microbios y rehuimos los alimentos podridos para evitar secreciones defensivas. No ha sido tan fácil, en cambio, disuadir a los buitres cabecirrojos. Sus intestinos queman los microbios en ácido de baterías y con jugos gástricos potentes. Más allá del intestino, los buitres cuentan con una segunda línea de defensa. Cantidades extraordinariamente elevadas de glóbulos blancos corren por su sangre buscando bacterias extrañas y otros invasores para envolverlos y destruirlos. Un bazo particularmente grande mantiene abastecida a esa multitud de células defensivas.

La constitución fuerte de los buitres cabecirrojos les permite alimentarse de lo que daría náuseas o haría enfermar a otros.

Paradójicamente, pues, la barrera tóxica de los microbios beneficia hasta cierto punto a los buitres al disuadir a otros animales. De nuevo, la frontera entre competición y cooperación no es tan fácil de trazar.

Las proezas digestivas de los buitres afectan a la comunidad del bosque en general. Debido a que los tractos digestivos del buitre son potentes destructores de bacterias, dichas aves no se limitan, en su rol de purificadores a recoger cadáveres. Las bacterias de ántrax y los virus de cólera se mueren al pasar por el aparato digestivo del buitre. En cambio, los intestinos de los mamíferos y los insectos no producen ese efecto. El buitre no tiene por tanto igual en su capacidad de limpiar la tierra de enfermedades. El nombre de *Cathartes* le va que ni pintado.

Afortunadamente para los que no somos fans del ántrax y el cólera, las poblaciones de buitres americanos cabecirrojos se mantienen estables en la mayor parte de su zona de distribución en Norteamérica. En el noreste, incluso han aumentado, quizá gracias a la creciente densidad de ciervos, que terminan por morir y de los que hay que deshacerse. Hay dos excepciones a esas buenas noticias. Algunas partes del país que han pasado a estar dominadas por la soja y otros cultivos en hileras han visto como disminuían las poblaciones de buitres. Los monocultivos de la agricultura sustentan poca vida animal y tienen poca necesidad de enterradores. Otra amenaza más sutil es la que representan las presas abandonadas o perdidas de los cazadores de ciervos y conejos. La munición de plomo estalla en un polvo fino de metal pesado que contamina la carne que recibe el disparo. Esto es malo para los cazadores y sus familias, pero peor para los buitres, que suelen comer más caza que el más ávido de los tiradores. Muchos buitres cabecirrojos están ligeramente enfermos debido al plomo, pero la población general no corre peligro por ese metal pesado, probablemente porque la dieta de la mayoría de los buitres es variada e incluye mucha carroña que no procede de la caza. En cambio, los cóndores de California comen proporcionalmente más cuerpos aderezados con plomo que sus primos los buitres cabecirrojos. Los pocos cóndores que viven en

libertad se mantienen con vida gracias a los veterinarios que los capturan y purgan de plomo. La cultura de la caza en Norteamérica necesita una extraña inversión: una purificación de los purificadores.

Podría ser peor. En la India, la interacción entre la tecnología y los buitres ha dado lugar a una crisis mucho mayor. La utilización generalizada de un medicamento antiinflamatorio en el ganado ha arrasado involuntariamente las poblaciones de buitres. El medicamento sigue presente en los cadáveres y resulta mortal para los buitres antaño abundantes. Los buitres indios se hallan hoy al borde de la extinción, de ahí que la tierra esté llena de ganado putrefacto. Las poblaciones de moscas y de perros asilvestrados se han disparado, lo que conlleva consecuencias terribles para la salud pública. En algunas partes de la India es común el ántrax. Además, este país tiene la incidencia más alta del mundo de personas infectadas de rabia, y la mayoría de los casos tiene su origen en mordeduras de perro. Se calcula que la pérdida de buitres y el consiguiente auge de la población de perros asilvestrados provoca entre tres y cuatro mil infecciones adicionales cada año.

A la comunidad parsi de la India la ausencia de buitres le ha afectado de otra forma. Sus costumbres funerarias establecen que los muertos se coloquen en una Torre del Silencio. Los cadáveres se disponen en círculos en estas torres achaparradas y sin techo en las que los buitres convierten los cuerpos en huesos en unas pocas horas. Actualmente, sin buitres que consuman los muertos y con proscripciones religiosas contra el entierro y la incineración, la comunidad parsi está abocada a una crisis filosófica provocada por la extinción.

La India ha recibido una lección dura e inmerecida sobre el valioso trabajo de estos purificadores calvos. En la actualidad, el medicamento antiinflamatorio que provocó esas calamidades está prohibido en la India, pero se sigue utilizando en algunas zonas y los buitres todavía tienen que recuperarse. Lamentablemente, el mismo medicamento está haciendo avances en países africanos en los que los buitres parecen igual de importantes y vulnerables.

Aquí en Tennessee es habitual ver a los buitres americanos cabecirrojos volando en círculos por encima de las colinas. Tan habitual que es fácil olvidarse de la suerte que tenemos.

26 DE SEPTIEMBRE

MIGRANTES

Las aves migratorias siguen cruzando el mandala. La mayoría viaja al sur desde el bosque boreal, una superficie de bosques de coníferas de cuatro millones de kilómetros cuadrados que se extiende desde Alaska hasta Maine pasando por Canadá. Este bosque puede compararse con la selva tropical amazónica en cuanto a tamaño y es la zona de reproducción de miles de millones de pájaros cantores. A medida que los migrantes atraviesan el mandala, se llevan a las aves de la zona en bandadas inquietas. Observo desde una roca diez metros cuesta arriba y veo grupos agitados de currucas, carboneros y pájaros carpinteros peludos. El bosque está lleno de sus *chip, chec* y *chiip:* suenan como un ejército de hojalateros.

Las aves han abandonado el recelo de la época de cría y se acercan. Algunas llegan casi al alcance del brazo y me conceden una visión directa de su vitalidad. Su plumaje es exquisito. Las plumas de las alas y la cola son crespas, las coronillas son suaves y las plumas del cuerpo brillan cuando se deslizan las unas sobre las otras. La muda de finales de verano se ha completado y todas las plumas se ven perfectas.

A los chipes encapuchados de la bandada del mandala las plumas que acaban de estrenar tienen que durarles un año entero. El roce de la vegetación, el polvo y el viento las desgasta, y en pleno verano el grueso ya se ha reducido y los bordes están raídos. De todos modos, ellos sacan partido de ese proceso de envejecimiento. Los pájaros mismos colaboran en el desgaste hasta que obtienen el plumaje de cría. Ahora la coronilla y el cuello son de un amarillo

apagado, pero a medida que los bordes exteriores de estas plumas se desgastan, se descubre debajo el negro del plumaje de cría. Se trata de una estrategia de ahorro; la mayoría de especies de aves adoptan los colores de cría al crecerles plumas nuevas, cada una de las cuales está compuesta de costosa proteína.

A los carboneros, los pájaros carpinteros y los chipes encapuchados les crecieron las flamantes plumas de otoño aquí, en el mandala y alrededores, después del verano de cría. Sin embargo, la mayoría de los pájaros de estas bandadas mudó de plumas mucho más al norte, en los matorrales de píceas de Canadá. Los nombres de estas especies, reinita de magnolia y reinita de Tennessee, delatan su ecología. Ambas fueron descritas y bautizadas en los estados del sur a partir de ejemplares migrantes, y esa peculiaridad histórica se ha fosilizado en los nombres. A la reinita de magnolia le dispararon mientras picoteaba en un magnolio de Misisipi; la reinita de Tennessee llegó al fin de sus días en la orilla del río Cumberland de ese estado. Otros reproductores boreales cargan con el mismo bagaje histórico. Las reinitas atigradas, las reinitas de Nashville o los chipes cabecigrises ojoanillados son todos pájaros de los grandes bosques septentrionales. De este modo las convenciones de la nomenclatura ecológica encierran una gran verdad sobre la vida de las aves de este continente. El bosque boreal es la guardería de la aristocracia aviaria de Norteamérica, las currucas, la mayoría de las cuales anidan exclusiva o principalmente en el norte. El mandala se ve inundado dos veces al año por una marea cuyo volumen y fuerza nace en la tierra del glotón y el lince.

Un ruido claramente meridional salpica el tintineo de las aves boreales. Un cuclillo piquigualdo cloquea desde el dosel y luego estalla en una cascada de *cacs* huecos con los que tamborilea su canto. Veo al ave muy arriba del mandala, saltando de rama en rama como un mono. Apenas abre las alas cuando brinca y estira el pico parecido a una guadaña hasta los grupos de hojas. Apresa a un saltamontes longicornio y engulle el grueso insecto antes de revolotear hasta las alturas ocultas del dosel.

Los cuclillos abundan en el bosque que rodea al mandala, aunque su timidez y su inclinación por los árboles altos hacen que sea raro verlos. Este pájaro, como todos los cuclillos que vi antes de él, me sobresalta por su rareza. El cuclillo se mueve como un primate, hace un ruido como un tronco hueco sobre el que se tamborileara y se alimenta de insectos que otras aves no pueden comer o no comen. El enorme pico le permite tragarse saltamontes longicornios de buen tamaño e incluso serpientes pequeñas. Los pelos defensivos de las orugas disuaden a otros pájaros, pero no a los cuclillos. Liso o peludo, todo es bueno para mandarlo garganta abajo, a veces acompañado de algún movimiento enérgico con el pico para arrancar los pelos, aunque lo más frecuente es que se traguen a las orugas enteras, con pelos y todo. Parece que dentro del estómago de los cuclillos hay una buena maraña de púas de orugas cuyas barbas se depositan en las paredes intestinales.

Los cuclillos también rompen otras normas del comportamiento aviar. No se asientan en territorios predecibles, sino que vagan como nómadas por su zona de reproducción en busca de lugares donde abunde el alimento, instalan rápidamente su base y se reproducen. Los polluelos crecen rápido y les salen unas plumas que literalmente se despliegan de repente del todo formadas. La muda de los adultos tampoco se caracteriza por su formalidad: en lugar de desprenderse de las plumas y que les vuelvan a crecer otras en una secuencia organizada y en un momento concreto como al resto de pájaros, los cuclillos mudan de plumas sin orden ni concierto, una a una, y la muda se extiende a sus zonas de verano e invierno. Tal vez unas toxinas de oruga psicoactivas hayan relajado su lealtad al *statu quo* o, más probablemente, su estrategia de muda sea como su forma de reproducirse, pensada para sacar partido de la abundancia de recursos allí donde esté y después poder atravesar con tranquilidad los periodos de vacas flacas. Incluso su comportamiento migratorio es flexible. Los ornitólogos de Sudamérica han capturado pájaros muy jóvenes, lo que es un indicio sólido de que algunos cuclillos "migratorios" se quedan y se reproducen en las zonas donde inviernan.

De todos los pájaros que hoy están en el mandala, el cuclillo es el que viaja más lejos. En invierno, su hogar es la selva amazónica al este de los Andes. La mayoría de las currucas viaja un poco más cerca, al sur de México, América central y el Caribe. De modo que en este momento el mandala conecta casi todo el nuevo mundo. Recuerdos de tapires y tucanes pasan al lado de pensamientos sobre el borde de la tundra, minerales de Ecuador y de Haití vuelan con azúcares de Manitoba y Quebec.

Esta noche las currucas unirán el mandala con el exterior, más allá de los límites de la Tierra, y harán que la materia del bosque sea consciente de las estrellas. Después de haber descansado y de haberse alimentado todo el día, los migrantes emprenden el camino hacia el sur en el frescor y la seguridad de la noche. Estos pájaros voladores escudriñan los cielos, encuentran la estrella polar y utilizan su posición para dirigirse al sur. Las aves adquieren estos conocimientos astronómicos de jóvenes, cuando están en el nido: observan la noche y buscan en el cielo la estrella que no gira. Ese recuerdo lo tienen metido en lo más profundo de su cerebro, de modo que en otoño levantan la vista y se guían por las constelaciones.

Por muy admirable que sea, la orientación a partir de las estrellas es un método falible. En las noches nubladas no pueden verse y algunos pájaros pasan su primer año de vida en bosques espesos o en zonas en las que el cielo suele estar cubierto. Las aves migratorias disponen por tanto de varias técnicas de navegación de reserva. Observan la salida y la puesta del sol, aprenden a seguir cadenas montañosas de norte a sur y son capaces de detectar las líneas invisibles del campo magnético de la Tierra.

Los pájaros migratorios abren los sentidos al cosmos e integran al sol, las estrellas y la Tierra cuando su gran marea se desplaza al sur.

5 DE OCTUBRE

OLEADA DE ALARMAS

Estoy sentado sin moverme. El tiempo pasa lentamente. Una ardilla listada atraviesa el borde opuesto del mandala, apenas a un metro de distancia. El animal se detiene, hurga en la hojarasca con las patas y el hocico y luego desaparece entre un montón de piedras. Es un encuentro poco frecuente. A diferencia de sus primos de las afueras de las ciudades o de los cámpings, las ardillas listadas de esta ladera de montaña son animales asustadizos. Solo se me acercan después de estar un buen rato sentado sin moverme. Animado por los frutos de mi quietud, me dispongo a fundirme con la roca.

Una brisa suave. El canto de los pájaros a lo lejos. Las aguas del bosque están en calma. Pasa una hora.

Y entonces se oye una espiración de aire súbita y ronca, solo medio metro detrás de mí. Me quedo quieto. El ciervo suelta otro gruñido de alarma y luego una doble advertencia. Veo un destello blanco y el animal se aleja dando saltos, resoplando al andar. La voz de alarma del ciervo vibra por el aire silencioso y calmado, y despierta una energía súbita que cruza el mandala.

Los bufidos hacen que tres ardillas se pongan inmediatamente a gorjear y a gañir. Ocho ardillas listadas se suman y sueltan *chips* rápidos. La oleada se aleja del mandala. Cuesta abajo, un zorzalito maculado empieza a trinar, *güipa-güipo-guop*, y yergue las plumas de la cabeza mientras suelta el reclamo. A lo lejos, algunas ardillas listadas retoman el estribillo entrecortado, pero apenas puedo oírlo.

La voz de alarma del ciervo al toparse con un ser humano inmóvil ha llegado a cientos de metros de distancia. La inquietud, especialmente la de las ardillas listadas, no desaparece hasta al cabo de una hora.

Los pájaros y mamíferos del mandala viven insertados en una red acústica en la que cada individuo está conectado con los demás a través del ruido. Las noticias del bosque circulan a través de esta red y dan la última información sobre la localización y las actividades de los alborotadores. A los seres humanos urbanizados nos cuesta trabajo captar esas señales itinerantes. Estamos acostumbrados a ignorar el "ruido de fondo", y en cambio seguimos las pistas del ruido interior de nuestra mente. Cuando estoy sentado en el bosque o camino por él, dedico la mayor parte del tiempo a dejarme llevar por las olas que se mueven dentro de mi cabeza, pensando en el pasado o en el futuro. Sospecho que se trata de algo común. Solo el esfuerzo reiterado de la voluntad puede devolvernos al presente, llevarnos otra vez a nuestros sentidos.

Cuando alcanzamos el ahora acústico, descubrimos que la sala de redacción del bosque se centra en –¡oh, sorpresa!– nosotros. Somos grandes, ruidosos y rápidos. Y muchos animales nos han visto en nuestro modo depredador. Los que no han sufrido en carne propia nuestras escopetas, trampas y sierras aprenden rápido de sus compañeros con más experiencia: va en el interés del animal prestar atención a lo que asusta a otros. Somos como los halcones, búhos y zorros que rara vez llegan a observar la red del bosque sin provocar ruidosos boletines informativos. La única forma de pasar inadvertido es sentarse discretamente, quedarse quieto y esperar el momento oportuno. Entonces notamos la alternancia entre calma y estrépito de las agencias de noticias. A los excursionistas, por ejemplo, les preceden olas de proa que llegan minutos antes de su cháchara y risa. Otras alteraciones menores, como la caída de una rama o el vuelo de un cuervo, mandan a través de la red pulsaciones más tranquilas y efímeras. La voz de alarma del ciervo al toparse conmigo era, en cambio, una explosión, un titular llamativo.

Estar sintonizados con la red supone una clara ventaja para los animales del bosque. La conciencia del posible peligro concede a los oyentes más margen para decidir cómo reaccionan. Sin embargo, las ventajas de contribuir activamente a las olas de información no son tan obvias. ¿Qué sentido tiene hacer ruido si uno ve a un depredador? ¿No es mejor escuchar a los demás, pero no decir ni pío? Dirigir la atención hacia uno mismo haciendo ruido cuando se acerca un depredador no parece lógico.

En el caso de los animales que tienen parientes cerca, el coste de la voz de alarma puede verse compensado por la necesidad de proteger a la familia. Aunque estamos al final de la temporada, algunas ardillas y ardillas listadas de los alrededores del mandala van acompañadas de jóvenes, de modo que sus chillidos y gorjeos avisan de antemano a las crías. Sin embargo, muchos animales dan voces de alarma cuando la familia no está, así que tiene que haber otras ventajas en juego. Algunas señales de alarma están diseñadas para comunicarse con el depredador y atraen la atención hacia el animal en peligro. Al hacerlo, puede que consigan el beneficio paradójico de informar al depredador de quién es y dónde está la posible presa. Desde el punto de vista del depredador, el animal que le ha visto acercarse y está listo para huir probablemente resulta difícil de apresar. Más valdría que el depredador se dedicara a buscar una presa desprevenida. Dar la voz de alarma puede proporcionar un beneficio directo al animal que la da al proclamar la poca rentabilidad del ataque y de ese modo ganar seguridad. "Te he visto, no me puedes atrapar. Sigue adelante".

Los ciervos de cola blanca llevan este anuncio un paso más allá. Cuando huyen de los depredadores levantan y bajan la cola, con lo que les dejan entrever la blancura de las ancas y de la parte interior de la cola. Intercalan saltos largos y altos en la carrera, lo que les hace perder tiempo que podrían dedicar a correr. Esos despliegues fugaces y saltarines deben tener una función más allá de informar al depredador de que se le ha visto: echar a correr ya es una señal clara de que el ciervo ha detectado al depredador. Es posible que el ciervo indique su vigor y, en consecuencia, su capacidad de

escaparse. Solo los ciervos sanos pueden permitirse salpicar su carrera con florituras gratuitas; los débiles o enfermos no pueden arriesgar la vida con exhibiciones de saltos que les hacen perder tiempo. Esa idea no se ha comprobado de forma rigurosa en los ciervos de cola blanca, aunque en el caso de las gacelas los despliegues parecidos y desconcertantemente exagerados parecen señales sinceras de su estado físico.

La red acústica de los animales cuenta con una versión análoga invisible entre las plantas del bosque. Cuando los insectos mordisquean las hojas, provocan una reacción fisiológica en la planta huésped que no solo evita más daños a esta última, sino que además alerta a las plantas vecinas. Las hojas dañadas activan genes que producen una descarga de sustancias químicas. Algunas de esas sustancias defensivas se evaporan y perfuman el aire en torno a las plantas estropeadas. El interior húmedo de las hojas de las plantas vecinas se empapa de esas moléculas y, como ocurre con el olor en el olfato humano, estas se disuelven y penetran en las células de alrededor. Allí las sustancias químicas ponen en funcionamiento algunos de los genes que produjeron las sustancias defensivas en la planta original. Las plantas intactas alrededor de un congénere dañado se vuelven por tanto menos agradables para los insectos. Los árboles aguzan el oído.

Cuando estoy sentado en el bosque o camino por él no soy un "sujeto" que observa "objetos". Entro en el mandala y quedo atrapado en redes de comunicación y de relaciones. Sea o no consciente de ello, modifico esas redes al poner en alerta a un ciervo, asustar a una ardilla listada o pisar una hoja viva. La observación disociada no es posible en el mandala.

Las redes también me cambian a mí. Cada vez que inspiro, me entran en el cuerpo cientos de moléculas transportadas por el aire. Esas moléculas son el olor del bosque, la suma de la fragancia de miles de animales. A las personas algunos aromas nos parecen tan agradables que los hemos domesticado y hemos extraído perfumes de ellos. Como mínimo uno de esos perfumes, el jasmonato, es una sustancia química de alarma, que señala peligro entre las plantas.

¿Quizá nuestra estética olfativa refleja el deseo de unirnos a la lucha de la naturaleza?

Sin embargo, los perfumes son la excepción. La mayoría de las moléculas del bosque esquivan nuestro sentido del olfato y se disuelven directamente en la sangre, con lo que entran en nuestro cuerpo y mente por debajo del nivel de la conciencia. Los efectos de nuestra interpenetración química con las fragancias vegetales están en buena parte pendientes de estudio. La ciencia occidental no se ha parado a considerar seriamente la posibilidad de que el bosque, o la falta de él, puedan formar parte de nuestro ser. No obstante, los aficionados al bosque saben muy bien que los árboles afectan a la mente. Los japoneses le han puesto nombre a esa sabiduría y la han convertido en una práctica, *shinrin-yoku*, tomar el aire del bosque. Participar en la comunidad de información del mandala parece que puede darle cierto bienestar al centro químico y húmedo de nosotros mismos.

14 DE OCTUBRE

UNA SÁMARA

Poco a poco los colores del bosque están cambiando. El calicanto del mandala es verde en su mayor parte, pero algunas hojas presentan manchas amarillas. El fresno de al lado tiene un color desvaído; las hojas exteriores se están secando y se ven descoloridas. Encima de mí, el arce y el nogal americano todavía exhiben sus colores veraniegos, pero cuesta arriba las hojas de un gran nogal se han vuelto todas canela y oro. Algunas han caído aquí y allá, lo que renueva la capa superior de la hojarasca y hace que suelte un leve crujido con el andar de los animales.

Una semilla alada de arce pasa volando junto a mi cara, zumbando entre la luz informe como un cuchillo volador en el circo. La semilla baja como un helicóptero, golpea una hoja de *Cardamine diphylla*, cae entre dos hojas muertas que hay en el suelo del bosque, pasa rozando un guijarro de arenisca y queda metida en una grieta del humus, con el ala hacia arriba y la semilla hacia abajo. Se trata de un buen lugar para germinar; ha sido una caída afortunada.

Las flores de arce que salieron en abril por fin han madurado y, tras meses de lento crecimiento, hay semillas en forma de helicóptero esparcidas a lo largo y ancho del suelo. Algunas descansan en las aberturas oscuras de la hojarasca, aunque la mayoría yace expuesta sobre las superficies secas de las hojas y las piedras. A pesar de su espectacular vuelo giratorio desde el dosel, el destino último de las semillas de arce viene determinado por las particularidades del lugar donde caen. Las superficies rugosas destacan por retener las semillas llevadas por el viento, de modo

que las piedras con musgo captan más semillas que las lisas. El lado de sotavento de los árboles acumula más semillas que el de barlovento. Los animales depredadores destrozan las semillas cuando se las comen, o las esparcen y siembran sin darse cuenta cuando las guardan para una comida que, por descuido o muerte, nunca llega.

Las semillas dispersadas por el viento no pueden hacer demasiado para escoger un lugar de germinación favorable. No las transportan a un fértil hormiguero como las semillas de *Hepatica*, ni se las deposita sobre un montón de estiércol como a las semillas de cerezo, ni el pico de un ave que lleva muérdago las frota por una rama adecuada. Sin embargo, la impotencia de la semilla de arce en cuanto a la elección de su destino final no significa que no tenga ningún poder. Sus capacidades se despliegan antes del aterrizaje final.

Esta mañana no caían semillas en el mandala. Ahora, al final de la tarde, llueven en tal cantidad que el chisporroteo con el que impactan contra el suelo suena como un incendio forestal. No es una coincidencia. El momento en que la tira fina de tejido que une la semilla con su progenitor está más floja es en las tardes secas. Es también en esas tardes cuando el viento sopla con más fuerza, y los árboles desprenden semillas en el momento en que el viento es más favorable. Desde luego, el árbol no cuenta con un controlador aéreo que les diga a las semillas cuándo tienen que irse. Por el contrario, son los materiales con los que la semilla está sujeta al árbol madre, así como la forma y la fuerza del acoplamiento, los que determinan cuándo y de qué forma se liberarán las semillas. Millones de años de selección natural han servido para afinar el diseño de estos mecanismos de liberación.

La estrategia de los árboles no se limita a arrojar semillas en un ambiente seco. A estas semillas voladoras les esperan dos posibles caminos. El "camino bajo" las lleva desde el dosel hasta el suelo que rodea al progenitor. Estas semillas se alejan como máximo unos cien metros de su origen. El "camino alto", en cambio, las transporta por

encima del dosel hasta el cielo abierto, donde pueden viajar a kilómetros de distancia.

Pocas semillas escogen el camino alto, con el desafío a la gravedad que implica, pero se trata de un recorrido de suma importancia para el destino de las especies arbóreas. Los dispersores a gran distancia, que no abundan, tienen un efecto considerable en la estructura genética de la especie, en la capacidad de las especies de sobrevivir en paisajes fragmentados, y en la velocidad a la que reaccionan al retroceso de los glaciares o al avance del calentamiento global. Igual que la historia humana, el relato de la ecología y de la evolución depende de las acciones de unos pocos individuos que atraviesan continentes y se asientan lejos del hogar.

Los arces intentan comprar un billete en el *Mayflower* ingeniándoselas para lanzar las semillas a una corriente ascendente. Con ese objetivo, procuran desprender semillas en el aire ascendente de los remolinos y ráfagas, y en cambio se mantienen firmes ante las corrientes descendentes. Muchos árboles a los que dispersa el viento concentran las semillas encima del dosel, lo que aumenta las posibilidades de lanzar una semilla que aproveche una corriente ascendente. Los arces del mandala tienen una ventaja más. Los vientos preponderantes soplan sin obstáculos a lo largo del valle que hay abajo y luego la ladera empinada en la que se encuentra el mandala los desvía hacia arriba. El viento por tanto concede a las semillas del mandala una ráfaga ascendente más en su lucha contra la gravedad.

Cada árbol proyecta una "sombra de semillas", muy oscura y espesamente poblada de semillas, en el entorno inmediato del árbol, aunque desde un punto de vista teórico se extiende a lo largo de todo el continente. Una mirada hacia arriba confirma que las semillas de arce que revolotean hasta el mandala son casi todas de la variedad que se queda en casa, ya que han caído de unos árboles que se encuentran a poca distancia. Entre ellas se mezcla un pequeño número de competidores de otras partes del bosque, o quizá una semilla que excepcionalmente haya llegado hasta aquí

impulsada por una corriente térmica ascendente, como un buitre, y que procede de decenas o cientos de kilómetros de distancia.

El largo alcance de las sombras de semillas dificulta el estudio de su dispersión. Es fácil recoger información sobre la inmensa mayoría de semillas que no se alejan de sus progenitores. No obstante, a las que se arrojan a cielo abierto es casi imposible seguirles la pista, y sin embargo son los actores clave en el gran relato de la historia de cada especie.

A falta de un avión espía teledirigido con el que seguirles la pista a las semillas que vuelan por las alturas, me fijo en las semillas de arce de la superficie del mandala. La variedad de formas es notable, especialmente en cuanto a la forma de las alas. Algunas tienen el triple de superficie que otras. Unas pocas son rectas como una regla, mientras que otras se tuercen hacia abajo como un boomerang y unas terceras se arquean hacia arriba. La mayoría presenta una muesca que recorta el ala donde esta se encuentra con la semilla, aunque a algunas les falta esa marca. El ángulo y la profundidad de la muesca varía, igual que la anchura del ala. El mandala es un salón aeronáutico botánico en el que se muestran todas las formas de alas de avión y unas pocas formas que ningún ingeniero humano se atrevería a utilizar.

La variedad de formas provoca que las semillas de arce caigan de manera muy distinta. Las más básicas son las que no vuelan, sino que se desploman. Una de cada cinco semillas aterriza unida a su hermana. Esas parejas no giran en absoluto: caen y se estampan bajo el árbol. Las semillas simples con alas pequeñas o encorvadas también se precipitan sin girar. Sin embargo, se trata de excepciones. La mayor parte de las semillas cae libremente durante uno o dos segundos y entonces empieza a girar. El ala rota de manera que el borde más grueso corta el viento y sigue el borde fino. Ese perfil aerodinámico genera propulsión y ralentiza la caída. Evidentemente, una semilla empujada por el viento puede deslizarse más lejos del progenitor que una que cae como una piedra. Sin embargo, el tiempo de más que está en el aire también incrementa la probabilidad de que una corriente ascendente turbulenta la haga

flotar. Sea a través de un descenso poco pronunciado o de un afortunado ascenso, el viento extiende las sombras de semillas de los árboles, lo que reduce la competencia entre hermanos y deja caer a la esperanzada progenie por una zona amplia.

Los botánicos llaman sámaras a las semillas que producen su propia propulsión. Estrictamente, una sámara no es una semilla, sino un fruto especial formado por los tejidos de la madre y que encierra la semilla en su interior. Los fresnos y los tuliperos también producen sámaras, aunque ninguno de los dos genera la misma cantidad de propulsión que la pala giratoria del arce. La asimetría de este último es su ventaja. Su sámara está diseñada para fluir por el aire como un pájaro o el ala de un avión, con un borde anterior cortante. Las sámaras de fresno y tulipero son simétricas y no alcanzan el elegante giro del arce. Por el contrario, caen dando vueltas rápidamente alrededor de su eje, lo que impide que el ala se clave en el aire. Para transportar las semillas estas especies no confían tanto en su propio perfil aerodinámico como en la fuerza del viento. En consecuencia, los fresnos y los tuliperos se aferran a sus sámaras y solo las sueltan cuando el viento arrecia.

Las sámaras de arce viven en un país fronterizo poco conocido entre la aerodinámica de los objetos grandes y rápidos como los coches y los aviones, y la aerodinámica de los objetos minúsculos y lentos como las motas de polvo. Los aviones perciben su entorno como relativamente libre de fricción, pero las partículas de polvo son tan pequeñas que la fricción es lo único que son capaces de percibir. En otras palabras, a medida que un objeto se empequeñece, su mundo llega a parecerse a un tarro de melaza fría: es difícil atravesarlo a nado, pero en cambio es fácil flotar en él. El tamaño y la velocidad de las sámaras las conservan en jarabe de arce de baja calidad, quizá apropiadamente. Los ingenieros han demostrado que ese aire espeso como el jarabe forma un remolino encima del borde anterior de una pala rotatoria. Ese vórtice en miniatura aspira la superficie superior de la sámara giratoria y ralentiza así su descenso.

Las consecuencias aerodinámicas de la variedad de formas de sámara de arce son difíciles de valorar. Con todo, los estudiosos de

las sámaras de arce han lanzado semillas desde un balcón y han llegado a dos conclusiones generales. En primer lugar, las puntas de ala anchas producen turbulencia y probablemente vuelven más lento el giro, lo que reduce la propulsión. Del mismo modo, las alas curvadas son menos capaces de generar propulsión que las alas rectas. Por lo tanto, las sámaras curvas y de puntas anchas no son buenas voladoras en el aire ordenado que rodea al edificio de un laboratorio. Sin embargo, la mayoría de las semillas del mandala presentan puntas anchas y son curvas. ¿Se trata de versiones defectuosas de una forma difícil de alcanzar? ¿O es que los arces saben algo que nosotros ignoramos sobre la ventaja de las alas de puntas anchas y curvas, o "defectuosas" por algún otro motivo?

El viento en el bosque es una confusión de torbellinos y ráfagas. A mí las formas de las sámaras me parecen una encarnación botánica de la complejidad del viento: un ala para cada remolino y una curva para cada racha. Esa diversidad de formas biológicas no se limita a las sámaras, sino que es un motivo general del bosque. Aquí el examen atento de cualquier estructura –hojas, extremidades de animales, ramitas o alas de insectos– siempre pone de manifiesto la variabilidad. Una parte de esa irregularidad procede de los distintos contextos ambientales en que se encuentran los individuos, pero otra más importante hunde sus raíces en la genética, gracias a la reorganización del ADN en la reproducción sexual.

El hecho de que los individuos difieran ligeramente entre sí parece un detalle menor de la historia natural, pero esa variabilidad es la base de cualquier cambio evolutivo. Sin diversidad no puede haber selección natural ni adaptación, como sabía el Darwin que dedicó los dos primeros capítulos de *El origen de las especies* a la variación. La diversidad de las sámaras apunta por tanto indirectamente al funcionamiento invisible de la evolución. De entre estas formas variadas se escogerá la próxima generación de arces, especialmente adaptados a los vientos que soplan a través del mandala.

29 DE OCTUBRE

CARAS

La semana pasada una serie de fuertes precipitaciones limpió el bosque y tiró al suelo la primera acumulación importante de hojas. Hoy un sol intenso ha secado la hojarasca, que cruje con el movimiento de cualquier animal. A los grillos y los saltamontes longicornios el calor los estimula y cantan con fuerza: la cadencia constante y aguda de los grillos que se esconden bajo las hojas caídas y el gorjeo áspero de los *Microcentrum* aferrados a la parte inferior de las ramas. A diferencia del coro de aves de los amaneceres de primavera, el ruido de los grillos que se reproducen en otoño se concentra a media tarde, cuando sus cuerpos han absorbido el calor del día.

Un crujido desordenado salpica el canto preciso de los insectos. Una ardilla de las Carolinas se dirige al mandala y hunde de vez en cuando el hocico en la hojarasca; está entregada a una actividad febril y el cuerpo le tiembla de tanta energía desorganizada. El animal sigue avanzando y hurgando alternadamente hasta que llega a un árbol, trepa por él y lo pierdo de vista. Tras unos minutos baja de cabeza con una nuez en la boca. Sus ojos oscuros me descubren y se queda paralizada, con la cabeza levantada y la cola extendida en paralelo al tronco del árbol. La ardilla observa. Entonces la cola se agita en ondas temblorosas. El pelo de esa zona se allana y convierte lo que parecía un cepillo en un abanico ondulante.

Al palpitar la cola, oigo un tamborileo suave. De alguna forma, la cola allanada es suficientemente sólida como para hacer sonar en el tronco una retreta de advertencia. He visto el ondear de la cola muchas veces, pero nunca había estado tan cerca o tan callado

como para oír los golpecitos. Esta novedad no es solo consecuencia de mis limitadas dotes de observación, sino que probablemente no es a mí a quien va dirigida la señal. Un tamborileo suave no se transmite bien a través del aire, pero en cambio las vibraciones se desplazan con gran eficacia a través de la madera. Otras ardillas de este árbol, especialmente las que están metidas en agujeros, oyen el aviso con las orejas y con los pies.

La ardilla completa el descenso a rachas que alternan la quietud del tamborileo con carreras tronco abajo. Llega al suelo, corre al otro lado del tronco y, después de asomar la cabeza desde detrás del árbol para echarme una última mirada, se aleja dando saltos, con el trofeo del nogal apretado entre las mandíbulas.

La ardilla tamborilera no era la única. A una distancia de cinco metros de donde estoy, como mínimo cuatro ardillas más surcan el manto de hojas y también hay más arriba, en las ramas. El nogal americano junto al mandala es uno de los pocos árboles de esta parte del bosque del que todavía caen nueces, lo que lo convierte en un destino predilecto entre las ardillas, cuya supervivencia en invierno depende de la grasa corporal y de las provisiones de estos frutos. La competencia entre rebuscadores provoca un frenesí de hojas que se arrugan y bocas que chirrían.

Me siento y escucho mientras la tarde se convierte en anochecer. Los ruidos apremiantes ascienden y caen contra el telón de fondo del gorjeo constante y dulce de los grillos. A medida que la luz se va atenuando, distingo un ruido nuevo: un sonido que viene de detrás de mí, cuesta arriba. Me resisto a volverme y asustar al animal que esté haciendo el ruido desconocido, así que sigo sentado sin moverme y me concentro en él. A diferencia del hurgar con el hocico y del saltar de las ardillas, este ruido es constante, un crujido continuo que se va volviendo más fuerte, como una gran bola que rodara por la hojarasca. Y crece. Se dirige directamente hacia mí y noto algo de ansiedad. Me limito a girar poco a poco el cuello con la esperanza de lanzarle una mirada.

Doce patas golpean la hojarasca al tiempo que tres mapaches avanzan lentamente hacia mí. El movimiento es certero, tranquilo y

decidido. Parecen deslizarse colina abajo, como orugas mamíferas cubiertas de un gris plateado. Son ligeramente más pequeños que los adultos que veo por estas partes; quizá sean jóvenes de este año, nacidos en primavera.

Estoy sentado justo en el camino de los mapaches, que llegan a una distancia de treinta centímetros antes de detenerse súbitamente. He girado el cuello del lado equivocado y los he perdido de vista. Centro la atención en el oído. Los mapaches resoplan y olfatean mientras están de pie, en una especie de investigación nasal. Después de medio minuto, uno bufa suavemente y suelta un leve gruñido. En estas los tres siguen su camino y me rodean a medio metro de distancia. No muestran ninguna señal de alarma cuando vuelven a aparecer en mi campo visual, y después se alejan colina abajo.

La primera reacción que tuve ante los mapaches fue de sorpresa, un sobresalto de emoción al descomponerse el extraño ruido en el trío que avanzaba hacia mí. Después se acercaron sus caras atractivas: máscaras oscuras de terciopelo rodeadas de un marco de un blanco nítido, ojos de color obsidiana, orejas redondeadas y graciosamente levantadas y hocicos finos. Y todo esto cubierto de pelo plateado. Eran, innegablemente, unos animales adorables.

Esos pensamientos avergonzaron de inmediato a mi ser zoológico. Se supone que los naturalistas han superado ese tipo de juicios. "Mono" es una palabra para niños y *amateurs*, sobre todo si se refiere a un animal común como el mapache. Intento ver a los animales por lo que son, seres independientes, no como proyecciones de deseos que saltan espontáneamente de mi psique. Sin embargo, me gustara o no, ahí estaban los sentimientos. Quería agarrar a un mapache y hacerle cosquillas debajo de la barbilla. Está claro que era la máxima humillación de la altivez científica del zoólogo.

Puede que Darwin hubiera entendido mi apuro, ya que sabía que las caras tienen un gran poder emotivo. En *La expresión de las emociones en el hombre y en los animales*, publicado una década después de *El origen de las especies*, Darwin explicó que la cara

humana y la de los animales reflejan estados emocionales. El sistema nervioso nos graba los sentimientos internos en el rostro, incluso cuando el intelecto preferiría disimular lo que hay en nuestro interior. Darwin defendía que la sensibilidad a los matices de la expresión facial es una parte esencial de nuestro ser.

Darwin se centró en los mecanismos musculares y nerviosos que traducen las emociones en expresiones faciales, y dio por supuesto que los observadores de las caras las interpretaban correctamente. A principios y mediados del siglo xx, Konrad Lorenz, uno de los primeros defensores del estudio evolutivo del comportamiento animal, explicitó lo que Darwin había supuesto. Lorenz analizó los rostros como formas de comunicación y estudió las ventajas evolutivas que la sensibilidad a las expresiones faciales podía representar para los animales. Lorenz también amplió el análisis de Darwin al plantearse por qué a los humanos les atraen algunas caras de animales y no otras.

Pues bien, llegó a la conclusión de que nuestra afinidad por las caras de los bebés humanos puede llevarnos a error cuando vemos a animales. Los animales con cara de bebé nos parecen "encantadores", aunque el verdadero carácter de los animales esté lejos de ser adorable. Lorenz creía que los ojos grandes, los rasgos redondeados, las cabezas proporcionalmente voluminosas y las extremidades cortas despiertan en nosotros un instinto de abrazar y acariciar. También en el caso de otros tipos faciales pueden darse sentimientos que están fuera de lugar. Los camellos elevan el hocico por encima del nivel de sus ojos, lo que hace que nos parezcan altivos y desdeñosos. Las águilas tienen los arcos superciliares resueltos y las bocas dibujadas con líneas certeras y estrechas; en sus caras vemos liderazgo, imperialismo y guerra.

Lorenz pensaba que la forma como percibimos a los animales está fuertemente influenciada por las reglas que utilizamos al juzgar las caras humanas. Creo que andaba en lo cierto, aunque solo en parte. Los seres humanos hemos interactuado con animales durante millones de años. Está claro que podemos haber adquirido la capacidad de ver que un mapache no es un bebé, ¿verdad? Esa

capacidad nos habría venido bien. Es de suponer que cualquier ancestro que pudiera interpretar correctamente el peligro o la utilidad de otras especies animales tenía ventaja sobre aquellos sin perspicacia zoológica. Sospecho que nuestras reacciones inconscientes a los animales vienen conformadas por esos juicios tanto como lo están por la utilización equivocada de las reglas desarrolladas para las caras humanas. Tenemos afinidad por los animales que no suponen apenas peligro físico para nosotros: los de cuerpo pequeño, mandíbulas delicadas y ojos esquivos y sumisos. Tememos a aquellos cuyos ojos nos miran fijamente, a los que tienen los músculos de las mandíbulas marcados en la cara, y a aquellos cuyas extremidades podrían correr más rápido que nosotros o dominarnos. La domesticación es el último capítulo de nuestra larga relación evolutiva con los demás animales. Los seres humanos que podían colaborar eficazmente con animales obtuvieron perros de caza, cabras que les daban carne y leche, y bueyes para el trabajo. El agrarismo exige una sutil capacidad de leer a los demás animales.

Cuando volví a ver a los mapaches, los ancestros me llamaron a través de la complejidad evolutiva del cerebro: "Patas cortas y mandíbula delicada, cuerpos rechonchos; estos tipos apenas representan ningún riesgo. El cuerpo tiene aspecto de estar bien musculado, sería una comida como Dios manda; no parecen asustados, quizá sería divertido tener uno; caras encantadoras, como de bebés". Todo eso brota sin palabras desde el pasado y me siento atraído por los animales. Más adelante las palabras intentan explicar el deseo, pero todo el proceso de atracción pasa en primer lugar por debajo del listón de la razón, cubierto tras capas de palabras y lenguaje.

Quizá no debería haberme sentido tan avergonzado ante la atracción intensa e inmediata. Lo que interpreté como la humillación de mis pretensiones de zoólogo sofisticado es de hecho una lección sobre mi propia naturaleza animal. El *Homo sapiens* es una especie que lee caras. Nos dejamos llevar por las olas de juicio emocional a lo largo de toda la vida y sacamos conclusiones rápidas e inconscientes cada vez que vemos una cara. Las de los mapaches

supusieron para mí una conmoción psicológicamente fuera de lugar, ya que turbaron mi mente consciente. Sin embargo, la reacción ante ellos solo fue una extensión de las respuestas que experimento docenas o cientos de veces al día.

Mientras los mapaches se alejan haciendo crujir la hojarasca seca, siento que mi observación del bosque ha tendido un espejo a mi propia naturaleza, un espejo que aquí está menos empañado que en el mundo moderno sintético. Mis ancestros vivieron en comunidad con los animales del bosque y la pradera durante cientos de miles de años. Como en todas las especies, esos milenios de interacción ecológica me han configurado el cerebro y las afinidades psicológicas. Hoy en día la cultura humana modifica, mezcla y transforma nuestras predisposiciones mentales, pero no las sustituye. Al volver al bosque, aunque sea como observador antes que como un participante más de la comunidad, mi herencia psicológica empieza a revelarse.

5 DE NOVIEMBRE

LA LUZ

El ruido de mis pasos ha cambiado radicalmente en esta semana. Hace dos días, el suelo del bosque estaba cubierto de una espesa capa de hojas caídas secadas al sol. Era imposible moverse sin hacer ruido; caminar era como atravesar un campo de bolas de papel arrugado. Hoy han desaparecido el estrépito y el crujido de las hojas otoñales. La lluvia ha relajado los tensos rizos de las hojas, y los animales se mueven con pasos silenciosos por el terreno húmedo y callado.

Antes de la lluvia hemos tenido un periodo seco de una semana, así que los animales de la hojarasca amantes de la humedad salen a la superficie después de pasar muchos días escondidos. El más llamativo de esos animalillos es una babosa que se desliza por un pedazo de musgo color esmeralda. Aunque me he encontrado con estas babosas en otras partes del bosque, es la primera vez que alcanzo a ver una en el mandala y que la sorprendo moviéndose al aire libre a media tarde. A diferencia de las babosas europeas que infestan los jardines de nuestra región, esta especie es autóctona y vive únicamente en su hábitat forestal nativo.

La conocida babosa europea lleva una especie de silla de montar en la espalda, justo detrás de la cabeza. Ese pedazo liso de piel es el manto que cubre los pulmones y los órganos reproductivos. La babosa autóctona del mandala pertenece a la familia *Philomycidae*, la totalidad de cuyos miembros presenta mantos característicos que se extienden a lo largo de toda la espalda, como el glaseado de un palo de crema. Se diría por tanto que los *Philomycidae* van mejor vestidos que sus primos europeos, que tienen un aspecto

desagradablemente desnudo. El manto extendido también proporciona un lienzo en el que grabar bellos motivos. El color de fondo de la babosa del mandala es un plateado mate decorado a su vez con un color chocolate negro, trazando una línea fina a lo largo del centro de la espalda y unos dedos desde el borde del manto hasta la línea.

Sobre el musgo verde refrescado por la lluvia, las marcas de la babosa resultan sorprendentes y ofrecen un vivo contraste. A medida que la babosa se va deslizando por la cara de la roca cubierta de liquen, el efecto cambia. El color y la forma se funden en la superficie abigarrada; la belleza sigue ahí, aunque es la belleza camuflada de quien se halla en el sitio que le corresponde.

Mi concentración en la babosa se ve interrumpida por el intenso ruido de la lluvia contra el dosel. Me pongo el impermeable distraídamente sin dejar de mirar la babosa. En realidad, me he confundido: no llueve, solo es la caída de grandes cantidades de hojas arrojadas por el viento. El chubasco de hojas topa con el suelo y añade otro estrato al lecho que cubre el mandala y cuyo grosor va en aumento. La mayor parte de ese lecho se ha depositado en los últimos dos días, al romperse la tenaz sujeción de las hojas a las ramitas por el peso añadido de la humedad de la lluvia. Hace dos días, el dosel arbóreo presentaba un aspecto de lo más metálico gracias al bronce y al oro de las hojas de nogal americano y arce. Hoy aguantan unos pocos pedacitos aquí y allá, pero la armadura del dosel ha desaparecido.

Finalmente llega la lluvia, que empieza con gotas grandes y frías que sueltan un plaf al caer y después pasa a un chaparrón uniforme. Se desprenden más hojas. Una rana arborícola croa enérgicamente desde el tronco de un roble y le da la bienvenida a la lluvia con cuatro arranques de canto. Los grillos se quedan callados. La babosa sigue con su exploración, muy a gusto en el ambiente resbaladizo.

Me acurruco con el impermeable y noto una sensación inesperada de alivio estético ante el bosque cambiante. Es poco razonable, ya que las lluvias de otoño anuncian frío y el replegarse

de la vida durante el invierno. Sin embargo, algo que le faltaba al verano ha vuelto. Mientras miro a través de la lluvia, me doy cuenta de que me anima la mejora de calidad de la luz bajo el dosel arbóreo abierto. Parece como si viera el bosque de una manera más profunda y completa. Me he liberado de una luminosidad estrecha cuya existencia desconocía.

Se diría que las hierbas del mandala también notan el cambio. A las plantas de perifollo oloroso que salieron a fines de la primavera y que se ajaron a lo largo del verano les han vuelto a brotar ramilletes frescos. Cada planta tiene varios grupos nuevos de hojas finas. Supongo que estas hierbas que crecen a ras del suelo aprovechan unos días más de fotosíntesis bajo el dosel menos denso. A pesar de que los días son cortos, llega suficiente luz a la superficie del mandala para que la inversión en crecimiento nuevo salga a cuenta.

Sin el paraguas que forman las hojas, el suelo del bosque es más luminoso. Sin embargo, mi reacción, y sospecho que parte de la reacción de la hierba, se debe tanto a la forma y a la cualidad de la luz como a su mayor intensidad. La pérdida de hojas ha ampliado el espectro luminoso y ha liberado la mano pictórica del bosque.

La luz veraniega está constreñida, encerrada en un ámbito estrecho. En la sombra espesa del bosque reina la luz verdiamarilla; todos los azules, rojos y púrpuras se ven apagados, igual que las tonalidades que surgen de la combinación con estos colores ausentes. La luz que atraviesa el dosel está dominada por un naranja-amarillo intenso, aunque esos rayos son tan estrechos que faltan el azul o el blanco roto del cielo. Cerca de los huecos más grandes del dosel, los colores de la sombra incorporan tonos indirectos del cielo, pero el cobre del sol rara vez llega. La vida bajo el dosel veraniego transcurre bajo una gama muy limitada de candilejas.

Ahora, en cambio, los rojos, púrpuras, azules y naranjas se mezclan y dan lugar a miles de matices y colores: cielos cenicientos, arena y hojas de azafrán, líquenes verdiazules, babosas plateadas y de color sepia, y ramas de árboles pardas, rojizas y pizarra. El Museo Nacional del bosque ha abierto sus colecciones al público. Después

de bañarse una temporada en la luz amarilla y verde de los girasoles de Van Gogh y en los nenúfares de Monet –obras maestras, aunque solo representan una pequeña parte de la colección– se nos permite vagar por las galerías y deleitarnos en toda la profundidad y el alcance de la experiencia visual.

El fuerte alivio que me ha asaltado ante el cambio de luz del bosque nos da alguna clave sobre el sentido de la vista. Ansiamos grandes variaciones de luz. Si estamos demasiado tiempo en un ambiente, ya nos apetece algo distinto. Tal vez eso explique el hastío sensorial de quienes viven bajo un cielo que nunca cambia. La monotonía de los cielos soleados y despejados o de un interminable techo de nubes nos priva de la variedad visual anhelada.

El entorno lumínico del mandala afecta a muchas más cosas que a nuestro sentido de la estética. La luz interviene en el crecimiento de las plantas, así como en la alimentación y reproducción de la mayoría de los animales. La sensibilidad a las variaciones de la luz es por tanto una parte crucial de la vida de los animales del bosque. Las hierbas que viven en el suelo forestal en otoño crecen y abrazan las ondas de luz que antes interceptaban las hojas de los árboles. Las ramas de estos utilizan la fuerza y el color de la luz para dirigir su crecimiento hacia aberturas soleadas y lejos de otras ramas. Dentro de las células vegetales, las moléculas captadoras de luz reaccionan a los cambios de luz minuto a minuto, y se juntan y se separan según conviene.

Los animales también modulan su comportamiento a partir de los cambios de luz. Algunas arañas adaptan el color del hilo a las peculiaridades de la luminosidad y el tono en distintas partes del bosque. Las ranas arborícolas se funden con el fondo al mover arriba y abajo los pigmentos de dentro de la piel, con lo que ajustan su brillo y color a la superficie en la que se encuentran. Los pájaros que se exhiben se colocan en los entornos lumínicos que muestran mejor los colores de las plumas.

A las aves con plumaje rojo se les abren una serie de posibilidades especialmente variadas en el dosel arbóreo y debajo de

él. Pájaros como el cardenal rojo o la tángara rojinegra migratoria parecen chillones y llamativos cuando los vemos aislados en la página de una guía de campo. Sin embargo, la parte roja del espectro luminoso es débil en la penumbra verde del bosque. En la sombra, un pájaro rojo "vivo" se ve oscuro y apagado. Sin embargo, cuando el ave se posa en un lugar donde da directamente el sol, el color brilla y las plumas nos deslumbran. Saltando dentro y fuera de los haces de luz, los pájaros rojos del bosque son capaces de transformarse de enfurruñados a fanfarrones y viceversa, todo en un instante. Por lo que he observado, los pájaros carpinteros son particularmente dados a esos trucos. Las siete especies de pájaros carpinteros presentes aquí tienen todas crestas o coronas rojas, y son expertas en manipular la luz. Cuando los pájaros carpinteros se alimentan tranquilamente es endemoniadamente difícil localizarlos, pero en cambio cuando pregonan que son los propietarios de un pedazo de bosque o se pavonean ante una pareja, son como una antorcha encendida al anochecer, inconfundibles.

Los despliegues llamativos resultan imponentes, pero no son la adaptación más hábil de los animales a la luz. Es mucho más difícil alcanzar la oscuridad del anonimato. Un animal camuflado no solo tiene que igualar el color y el tono de su entorno, sino que el ritmo y la escala de las texturas de su superficie tienen que recordar a las del fondo. Cualquier desviación de las características visuales del entorno genera disonancia y surge la posibilidad de que el disfraz falle. Hay mil maneras de destacar en el bosque, pero solo unas pocas de mimetizarse.

La evolución del camuflaje es un proceso complicado en el que las particularidades de lugar importan mucho. Así, es más probable que desarrollen el camuflaje las especies animales cuyas vidas transcurren ante un solo telón de fondo visual, como por ejemplo las mariposas nocturnas que solo se posan en la corteza del nogal americano, que las especies que se mueven entre distintos fondos, como las mariposas nocturnas que revolotean de la corteza del nogal a las ramitas de arce y a las hojas de calicanto. Las especies de

animales móviles recurren a otras formas de defensa: la huida rápida, las sustancias químicas tóxicas y las púas protectoras.

Para las especies que se camuflan, esconderse en el seno de un microhábitat es una muy buena adaptación a corto plazo. A largo plazo, en cambio, una especialización de ese tipo puede resultar una trampa, ya que el destino de la especie camuflada queda ligado al del fondo en el que descansa. Las mariposas nocturnas que se mimetizan a la perfección sobre la corteza del nogal americano prosperan mientras abunden los nogales, pero en caso de que estos decrecieran, las mariposas nocturnas, que no cuentan con otros mecanismos de defensa, serían presa de aves de vista aguda en los nuevos entornos visuales. Aunque siguieran abundando los nogales americanos, las mariposas nocturnas que se especializan en la corteza de nogal están limitadas ecológicamente y hay menos probabilidad de que desarrollen nuevas maneras de vivir en el mundo. Sus primos provistos de otros métodos de defensa pueden explorar nuevos hábitats sin arriesgarse a las graves consecuencias que conlleva el camuflaje fallido. En cierto sentido, pues, el ejemplo de manual de la evolución del camuflaje –el desarrollo de alas oscuras por parte de las mariposas de los abedules inglesas cuando los árboles de su entorno cambiaron del gris libre de contaminación al negro hollín– no es representativo de las presiones evolutivas sufridas por las mariposas nocturnas. Es raro que una mutación afortunada permita a un animal que se camufla pasar de un fondo a otro con tanta facilidad. La complejidad del entorno visual y la sofisticación de la vista de los depredadores hacen que la evolución del camuflaje sea más difícil y limitada de lo que dan a entender los manuales.

Los colores de esta babosa que vaga por el mandala encajan con los de los líquenes y las hojas húmedas que recorre. Esta forma sencilla de camuflaje se completa con una capa adicional de trampantojos. Las llamas irregulares de pigmento oscuro que se elevan desde el borde del manto sirven para fragmentar el perfil de la babosa. Estas pautas perturbadoras engañan a la vista creando la percepción de un borde donde no lo hay, distrayendo así a los

procesadores neuronales de los ojos y el cerebro de los depredadores, y ocultando el borde de verdad mediante pautas que aparentemente carecen de sentido. Ese engaño a los sistemas de reconocimiento de pautas es sorprendentemente eficaz. Los experimentos con aves en busca de alimento muestran que las pautas perturbadoras, incluso cuando están compuestas de colores llamativos, pueden igualar o superar los resultados del camuflaje que se limita a imitar el color.

Las pautas perturbadoras no dependen de una correspondencia exacta entre el animal, de un lado, y el color y la textura del fondo, del otro. Los animales con pautas perturbadoras pueden ocultarse sobre muchos fondos distintos, y evitan así las restricciones de los animales con un camuflaje adecuado a un solo hábitat. La babosa sigue protegida sobre el musgo verde aunque en su piel no hay verde. Los falsos bordes no dan pistas sobre la forma verdadera y comestible del animal. Solo se desenmascara el engaño si se la contempla prolongadamente. Sin embargo, los depredadores echan vistazos rápidos: no pueden quedarse sentados observando un pedacito de musgo durante una hora o más como he hecho yo.

Los depredadores no carecen de contramedidas. Algunas peculiaridades de nuestra ecología visual humana podrían explicarse en parte por el combate visual entre depredador y presa. Los planificadores militares de la Segunda Guerra Mundial se dieron cuenta de que los soldados daltónicos veían mejor a través del camuflaje que los soldados con vista normal. Experimentos más recientes han confirmado que los dicromáticos (las personas con dos receptores de color distintos en los ojos, los daltónicos de rojo y verde) detectan con más facilidad algo camuflado que los tricromáticos (las personas con tres tipos de receptores, que es lo más común). Los dicromáticos detectan cambios en la textura que los tricromáticos, que se centran en las variaciones de color y se dejan llevar por ellas, no ven.

La mayor capacidad de los dicromáticos para identificar pautas puede parecer una secuela de una mutación desafortunada, curiosa pero carente de importancia. Dos hechos nos invitan a verla de otro

modo. En primer lugar, la frecuencia del dicromatismo en humanos, de un dos a un ocho por ciento entre los hombres (el cambio genético se da en el cromosoma sexual masculino), es mucho más alta de lo esperable si estuviéramos ante una inadaptación. Que sea tan común indica que en determinadas circunstancias la evolución puede concederle cierto valor. En segundo lugar, entre nuestros primos los monos, y especialmente entre los monos del nuevo mundo, también conviven dicromáticos y tricromáticos dentro de la misma especie. Los dicromáticos de esas especies representan la mitad o más de la población, lo que de nuevo sugiere que el dicromatismo no es solo un defecto accidental. Unos experimentos en los que unos titís tenían que buscar alimento descubrieron que los dicromáticos parten con ventaja sobre los tricromáticos cuando la luz es tenue, quizá porque ven las pautas y texturas que a los tricromáticos les pasan por alto. Bajo una luz fuerte, en cambio, la ventaja se invierte: los tricromáticos encuentran la fruta roja madura más rápido que los dicromáticos. Puede que las variadas maneras de ver de estos monos sean un reflejo de la variedad de condiciones de luz del bosque.

En general, los monos del nuevo mundo viven en grupos cooperativos, así que todos salen beneficiados si disponen de ambos tipos de visión en el mismo grupo (evidentemente, puede encontrarse alimento en todo tipo de condiciones lumínicas). Desconocemos si esta explicación también podría valer para los seres humanos. Nosotros también evolucionamos en un contexto social de grupos amplios, de modo que el dicromatismo podría existir en los seres humanos gracias a la selección natural que se dio en el pasado. Tal vez a los que contaban con algunos dicromáticos les iba mejor que a los grupos exclusivamente tricromáticos, y de esa forma se transmitía la propensión genética a las generaciones futuras. Son especulaciones de mucho interés, pero nadie las ha puesto a prueba mediante el examen del rendimiento visual humano en condiciones similares a las de nuestros antepasados.

Mi reacción ante el cambio de luz en el bosque fue subconsciente y se manifestó en lo que podemos llamar el sentido estético. Es tentador desechar reacciones estéticas de ese tipo como invenciones meramente humanas y sin conexión con el bosque. ¿Qué podría ser menos natural que los gustos sobrecultivados de un humano? Sin embargo, ocurre que nuestras facultades estéticas reflejan la ecología del bosque. Nuestra sensibilidad al tono, el color y la intensidad de la luz se halla estrechamente ligada a nuestra herencia evolutiva. Incluso la variedad de nuestra competencia visual puede estar relacionada con la ecología de nuestros ancestros.

Vivimos en un mundo civilizado en el que normalmente la luz es tan poco sutil como el parpadeo de la pantalla de un ordenador o una valla publicitaria. La luz cambiante de otoño en el mandala me ha hecho consciente de la iluminación sutil del bosque. Llego tarde a esa conciencia. Hace semanas que el perifollo oloroso sabía de la luz otoñal y ha desplegado hojas nuevas. Muchas generaciones de selección natural han ilustrado a la babosa sobre la luz y han trazado marcas en su manto. Las arañas, los cardenales rojos, los pájaros carpinteros y las ranas, todos ellos saben cómo está iluminado el bosque y ajustan su comportamiento, su hilo, plumas y pieles a su compleja luz. Mientras la lluvia hace caer las últimas hojas doradas, yo también empiezo a ver.

15 DE NOVIEMBRE

EL ESPARVERO CHICO

Hemos cruzado un umbral entre estaciones. El hielo ha vuelto al mandala, cubriendo las hojas de las hierbas que crecen a ras del suelo con una pelusa de cristales. Las heladas han afectado intermitentemente el dosel durante una semana más o menos, aunque esta es la primera helada de otoño que llega al suelo. A diferencia de los árboles de hoja caduca, que se desprenden de las hojas para evitar los daños de la helada, muchas hierbas sobreviven al frío cargando las células de azúcares que actúan como anticongelantes. También tiñen las hojas de un pigmento morado que protege las células, resguardándolas del daño del sol cuando la maquinaria celular que normalmente absorbe la luz se ha congelado. Hierbas que antes eran completamente verdes como la *Hepatica* y la *Polymnia canadensis* presentan ahora unos bordes morado intenso, la señal del invierno inminente. Estas hojas van a aguantar todo el invierno tirando de pequeñas cantidades de fotosíntesis en los días templados y no morirán hasta que las desbanquen los brotes frescos de primavera.

Aunque las mañanas son heladoras, todavía hay mucha vida animal en el mandala. A medida que la temperatura diurna sube, pequeños insectos pululan por el aire, y la hojarasca se puebla de hormigas, milpiés y arañas. Esos invertebrados son una valiosa fuente de alimento para las aves, algunas de las cuales han llegado aquí hace poco huyendo de las tormentas de nieve que les han cortado el suministro de comida en los bosques más septentrionales. Uno de esos pájaros, un chochín, visita el mandala mientras estoy sentado observando. Se posa cerca de mí y mete el pico en forma

de aguja en los pliegues de mi mochila y en el dobladillo de la chaqueta antes de salir disparado a un arbusto de viburno. Ahí, colgado de una ramita, me contempla con un ojo negro inclinando la cabeza y luego echa a volar hasta una maraña de ramas caídas que hay a unos pocos metros de distancia. El cuerpo minúsculo y oscuro desaparece en el matorral, donde se mueve más como un ratón que como un pájaro. Hace como mínimo una semana que se viene oyendo cotorrear a los chochines, pero me siento afortunado de que este me haya inspeccionado tan de cerca, ya que normalmente son mucho más precavidos.

A diferencia de las currucas que han abandonado el mandala y ahora se encuentran en América central y del sur, estos chochines hacen un viaje relativamente corto y pasan todo el invierno en los bosques norteamericanos. La mayoría de los años esta resulta una estrategia acertada, ya que evita un costoso vuelo transcontinental y permite que los pájaros vuelvan rápidamente a sus zonas de reproducción. Sin embargo, el hecho de que los chochines prefieran alimentarse en el suelo y entre las ramas caídas los vuelve vulnerables a los inviernos rigurosos. Algunos años, la combinación de frío y gruesos importantes de nieve en los bosques meridionales puede provocar grandes mortandades.

La visita del chochín curioso ha sido el segundo encuentro infrecuente con un ave del día de hoy. De camino hacia el bosque, un destello de azul cobalto saltó verticalmente desde el centro del mandala. Las alas y la cola del esparvero chico se desplegaron para frenar su descenso en picado y, en un abrir y cerrar de ojos, se elevó a seis metros rebotando en el aire. Las alas giraron, el cuerpo se niveló y el ave trazó un arco ascendente hasta posarse en una rama de arce. Allí estuvo sentado un momento, con la espalda y la larga cola alineadas en vertical, y luego se deslizó cuesta abajo formando una T inmóvil con las alas y la cola.

El movimiento del ave parece suave, como si no requiriera esfuerzo, y recuerda al de una piedrecita con la que se hacen cabrillas. Cuando perdí de vista al esparvero entre la neblina de los

árboles percibí la gravedad como un arnés que me ata a la tierra. Soy como una roca, un peñasco torpe.

La maestría del esparvero se basa en una cuidada proporción entre peso y potencia. El esparvero chico solo debe pesar doscientos gramos, varios cientos de veces menos que yo. Los músculos pectorales, más rollizos que el pecho de muchos humanos, tienen varios centímetros de grosor y representan una sexta parte del peso del ave. Es por tanto una contracción de los músculos del esparvero lo que hace que vuele, como una pelota de playa chutada al cielo por una pierna forzuda.

Los seres humanos han intentado seguir los pasos de los esparveros, pero los saltadores de torres medievales y los *hippies* de San Francisco recibieron todos la misma respuesta, dura e implacable, a sus peticiones de libertad aérea. Solo al trascender las limitaciones de nuestro cuerpo con la potencia de los combustibles fósiles hemos sido capaces de romper el arnés que nos sujeta a la tierra. Hacerlo con nuestra propia potencia exigiría modificaciones grotescas del cuerpo humano: o bien unos músculos pectorales de dos metros de grosor o una reducción imposible del volumen del resto de nuestro cuerpo. Sencillamente somos demasiado enclenques para nuestra complexión pesada. El mito del vuelo de Ícaro desde Creta puede por tanto instruirnos sobre los peligros de la *hibris*, pero no es una buena lección de aerodinámica. La gravedad le hubiera enseñado al hijo de Dédalo a ser humilde mucho antes de que el sol dictara sentencia de derretimiento contra sus alas de cera y plumas.

El equilibrio entre peso y potencia es el trasfondo del resto de la biología de las aves. Los órganos reproductivos de los animales terrestres son los mismos todo el año, pero en cambio las aves atrofian sus testículos y ovarios después de reproducirse y los encogen hasta convertirlos en tejidos minúsculos. Del mismo modo se prescinde de los dientes en favor de un pico fino como el papel y un estómago capaz de triturar. Los excrementos en el parabrisas del coche son otro elemento de la estrategia de las aves. Al excretar

cristales blancos de ácido úrico en lugar de urea acuosa, las aves ya no necesitan una vejiga pesada.

El cuerpo de las aves no es sólido en su totalidad, sino que buena parte está lleno de alvéolos y muchos huesos están huecos. Esos huesos tubulares proporcionaron a los seres humanos un regalo inesperado. En China, unos arqueólogos descubrieron flautas de hace nueve mil años fabricadas con huesos de alas de grulla de Manchuria. El flautero practicó agujeros en el hueso y creó una escala parecida a la occidental moderna "do, re, mi". Los artistas del Neolítico fueron por tanto capaces de convertir la magia del vuelo en otro deleite también aéreo.

La ligereza del esparvero recibe otro empujón hacia arriba gracias a la fisiología de sus gruesos músculos pectorales. Debido a que el cuerpo de las aves está a una temperatura superior a los cuarenta grados, las moléculas que forman los músculos reaccionan con velocidad y energía, y la fuerza de sus contracciones musculares dobla la de nuestros lánguidos apretones mamíferos. Los músculos de las aves están atravesados por una red de capilares que transportan la sangre de un corazón que proporcionalmente es el doble de grande que el de un mamífero y mucho más eficiente que la bomba agujereada con la que contaban los antepasados de las aves, los reptiles. El pulmón unidireccional exclusivo de las aves utiliza los alvéolos del resto del cuerpo como fuelles para que el aire salga por la superficie húmeda de los pulmones, y mantiene así la sangre oxigenada.

Toda esta fisiología admirable da lugar a algo más que el mero hecho de volar. El esparvero baila en el aire. En solo diez segundos detuvo un veloz descenso en picado, se levantó verticalmente mientras se daba la vuelta, salió disparado en otra dirección, batió las alas hacia arriba, trazó un arco ascendente y terminó con una pérdida de sustentación que le plantó las garras justo en una rama de arce. Estamos tan acostumbrados a la precisión y belleza del vuelo de las aves que apenas nos maravillamos. Deberíamos quedarnos paralizados de asombro ante el cardenal rojo que se posa en el comedero o el gorrión que esquiva los coches del

aparcamiento. Sin embargo, pasamos por ahí como si un animal que da piruetas en el aire no fuera digno de atención, como si fuera hasta trivial. La impresionante ascensión del esparvero por encima del centro del mandala me ha sacado de ese embotamiento y ha echado por tierra esa familiaridad acomodada que nos impide mirar.

Dado que los huesos de las alas están construidos con el mismo diseño que nuestros antebrazos, podemos imaginarnos, al menos en parte, el plegar y desplegar de las alas de las aves. Sin embargo, las plumas añaden una capa de refinamiento que nos es ajena y escapa a nuestra intuición. La analogía humana más próxima es el pelo, pero nuestras proteínas organizadas en forma de simples cuerdas son fláccidas e inertes si las comparamos con lo intrincado de las plumas de las aves. Cada pluma es un abanico de palas entrelazadas, dispuestas en torno al raquis, un punto de apoyo central. Ese raquis queda fijado a la piel mediante un grupo de músculos que las aves utilizan para ajustar la posición de cada pluma. El ala es por tanto una suma organizada de alas más pequeñas, que le dan al ave ese admirable control supremo.

Mientras el esparvero atraviesa el bosque, las plumas desvían el aire hacia abajo, empujando el ala hacia arriba. Además, el aire fluye más rápido por la superficie superior del ala, convexa, que por la parte inferior, que es cóncava. El aire que fluye deprisa ejerce menos presión, lo que supone otro impulso. Para posarse en algún lugar o para cambiar de dirección rápidamente, el pájaro coloca las alas en un ángulo cerrado y rompe así el suave fluir del aire. La turbulencia de detrás del ala funciona como un freno al aspirar el ala hacia atrás. El esparvero domina esa pérdida de sustentación hasta tal punto que logra posarse sin apenas movimiento en una ramita con aparente facilidad.

El esparvero del mandala iba de caza. Los esparveros chicos se alimentan sobre todo de pájaros pequeños como los chochines, y las alas cortas y anchas le permiten deslizarse entre ramas y acelerar con fuerza al perseguir a la presa. La larga cola le sirve de timón con el que atravesar el bosque enmarañado y para subir de golpe hacia arriba y capturar así en pleno vuelo a los pájaros con las garras

parecidas a hoces. Gracias a sus patas larguiruchas, el esparvero es capaz de sacar de los agujeros de los árboles o de los matorrales a las presas que consiguen huir.

El diseño del esparvero tiene un inconveniente. Las alas redondeadas producen turbulencias en las puntas romas, lo que a su vez genera desordenados remolinos de aire. Esos remolinos entorpecen al ave y hacen que el vuelo sostenido sea más costoso para los esparveros chicos que para los halcones y otras especies con alas angulares. Además, sus alas no son lo suficientemente parecidas a un abanico como para permitirles volar alto como los buitres. Se trata de un ave de bosque, que se encuentra en su ambiente atravesando como una flecha las ramas de pino y de roble, y su morfología no es adecuada para vuelos largos. Los esparveros chicos cubren las largas distancias alternando el batir de alas con breves planeos, en un punto intermedio entre el continuo batir de alas de un halcón y el dejarse llevar por el viento de un buitre. Se trata de un trabajo fatigoso, y los esparveros tienen que parar a alimentarse y descansar a lo largo del camino, a diferencia de los verdaderos voladores de larga distancia.

Los esparveros chicos de Tennessee no emigran, pero se les unen los esparveros chicos que se retiran desde más al norte ante la llegada del invierno. Ese flujo otoñal de esparveros chicos que se dirigen al sur ha disminuido en los últimos años. En un primer momento los científicos supusieron que esa caída de esparveros migrantes se debía a la contaminación o a la pérdida de hábitat. Sin embargo, parece que no es el caso. Lo que ocurre es que hay más esparveros chicos que se quedan en los bosques helados del norte en lugar de dirigirse al sur para invernar. Esos esparveros sedentarizados sobreviven merodeando alrededor de los asentamientos humanos y aprovechan así un nuevo elemento de la ecología de Norteamérica: el ser humano que da de comer a las pájaros en el jardín trasero de su casa.

Nuestro amor por los pájaros ha creado una nueva migración. Esa novedad es una migración de oeste a este de plantas y no una migración de norte a sur de aves. Lo que produce miles de hectáreas

de antigua pradera se envía hacia el este, encerrada en millones de toneladas de semillas de girasol. Esos densos almacenes de energía van goteando de cajas de madera y tubos de cristal, lo que aporta una fuente de alimento estable y fija al avituallamiento invernal impredecible y cambiante de los pájaros cantores de los bosques del este. A los esparveros chicos se les proporciona por tanto una cámara frigorífica fiable y el bosque se convierte en una casa donde pasar el invierno. Los que dan de comer a los pájaros no solo aumentan la despensa del bosque sino que, y eso es más importante, reúnen a los pájaros cantores en grupos que resultan comederos prácticos para los esparveros.

Nuestra admiración por la belleza de las aves desata olas que se expanden hacia el exterior y bañan praderas y bosques, incluido el mandala. El hecho de que haya menos esparveros migrantes llegados del norte le hace un poco más fácil la vida al esparvero del mandala. El invierno también se vuelve menos peligroso para los pájaros cantores, y quizá crecen las poblaciones de chochines. Si estos abundan más, es posible que disminuyan las poblaciones de hormigas o arañas, lo que envía un remolino a la comunidad de plantas cuando las flores efímeras primaverales ofrecen sus semillas para que las hormigas las dispersen, o a la comunidad de los hongos cuando un descenso en el número de arañas hace aumentar las poblaciones de mosquitos de los hongos.

No podemos movernos sin que se alteren las aguas y mandemos al mundo las consecuencias de nuestros deseos. El esparvero encarna esas olas que se van extendiendo, y la maravilla de su vuelo nos incita a prestar atención. El hecho de que formamos parte de un todo adopta una forma tangible y magnífica: he aquí un vínculo físico y sólido con los bosques septentrionales y con las praderas; he aquí la brutalidad y la elegancia de la red trófica surcando el bosque.

21 DE NOVIEMBRE

RAMITAS

Las ramas que cubren el mandala están completamente desnudas. Hacen que la vista del cielo despejado se fragmente con una tracería de líneas oscuras. Justo encima de mí, una ardilla mantiene el equilibrio sobre unas ramitas increíblemente finas en lo alto de un arce. Las patas traseras de la ardilla agarran una rama pequeña mientras las patas delanteras y el hocico buscan los grupos de semillas que todavía no han caído. Llueven cáscaras de semillas y ramitas al paso del animal y acribillan el suelo con la dureza de la caída. También se deslizan hacia abajo semillas enteras, que giran lentamente llevadas por la brisa y van a posarse varios metros al oeste del mandala. Es la primera vez en varias semanas que veo una ardilla en el arce. Últimamente las nueces grandes y grasas del nogal americano ofrecían más incentivo, pero se han acabado y la ardilla ha pasado a alimentos que no le gustan tanto.

Una de las víctimas más voluminosas de la destructiva incursión de la ardilla yace delante de mí. La ramita de arce es la mitad de larga que mi antebrazo, y la punta se ramifica en varios grupos de tallos de semilla vacíos. Primero le echo un vistazo rápido, desechándola inconscientemente. Luego la mirada vuelve atrás y de golpe aparecen los detalles. Los hongos todavía no han desdibujado las inscripciones de la corteza de la ramita, de modo que la historia de esta diminuta pieza del dosel está escrita con claridad.

La piel canela de la ramita está salpicada de bocas de color crema cuyos labios se abren en paralelo a la longitud del palo. Son lenticelas –justo en el límite de lo visible a ojo desnudo– y a través de ellas el aire fluye a las células que hay debajo. A medida que la

ramita crece hasta convertirse en una rama y después en un tronco, las lenticelas se vuelven menos numerosas y se ocultan en la base de las grietas de la corteza. Las ramitas más jóvenes necesitan una alta densidad de lenticelas para sustentar la actividad de sus células en pleno desarrollo, del mismo modo que los pulmones de un niño son más grandes en proporción al resto del cuerpo que los de un adulto.

En la superficie de la que antes brotaban hojas se levantan medias lunas grandes e hinchadas. Cada cicatriz de hoja está coronada por un brote pequeño o, mejor dicho, una hendidura circular ahí donde crecía el brote. Las ramitas salen de esos brotes, pero la mayor parte muere al cabo de un año, lo que es una forma de crecer aparentemente poco económica. Después de varios años, de entre cientos de ramitas solo quedan una o dos, ya convertidas en ramas. Ese despilfarro es uno de los hilos conductores de la economía de la vida. Nuestro sistema nervioso también se desarrolla ramificándose en una red compleja, para morir después en un estado maduro más simple. Ocurre lo mismo con las interacciones sociales. Las constantes peleas entre los miembros de una bandada de pájaros recién formada pronto se resuelven en una jerarquía más sencilla en la que los pájaros solo riñen con sus superiores y subordinados inmediatos.

Tanto los árboles como los nervios y las relaciones sociales son sistemas que se desarrollan en condiciones imprevisibles. Es imposible que un arce joven sepa dónde caerá con más fuerza la luz, ni que una red nerviosa sepa qué se le pedirá que aprenda, ni que un polluelo sepa cuál es su lugar en el orden social. De modo que los árboles, los nervios y las jerarquías sociales prueban docenas o cientos de variantes y escogen las mejores y se amoldan a su entorno. La competencia por la luz determina qué ramitas vivirán y cuáles morirán, y la variada arquitectura de los árboles surge de las particularidades de esos cientos de pequeños acontecimientos. Un árbol que crece en la luz expansiva de campo abierto tiene un abanico de ramas que empiezan en la parte inferior del tronco y que dan al árbol una silueta ancha y redondeada. Aquí en el mandala los

árboles tienen pocas ramas bajas y las coronas cilíndricas y apretadas debido a la masificación y a la competencia por la luz. Ese proceso es análogo a la evolución por selección natural, en virtud de la cual se escogen unos pocos rasgos ganadores de entre las miles de variantes de cada especie. El proceso ya se puede observar en la escasa longitud de la ramita que tengo delante. La parte más vieja está desnuda y ya se ha desprendido de las ramas laterales, mientras que la punta se bifurca en un arbusto de palillos.

La piel lisa de la ramita se ve interrumpida por grupos de pulseras finas. Esos aros son las cicatrices que dejan las escamas de los brotes, unos cubrimientos con aspecto de bolas que protegen a los renuevos durante el invierno, cuando están aletargados. Los esfuerzos del árbol por resguardar a las puntas en desarrollo dibujan un registro del paso del tiempo, ya que cada año queda un aro de cicatrices. La distancia entre los aros nos revela la pujanza del crecimiento en cada temporada. Contando hacia atrás desde la punta: la ramita de arce creció una pulgada este año, una pulgada el año pasado y tres pulgadas en los dos años precedentes. La ardilla partió la última parte con las patas, pero el resto muestra seis pulgadas de crecimiento. Esta ramita ha ralentizado el crecimiento a lo largo de los últimos cinco años.

De la ramita de arce paso a fijarme en las escamas de los brotes de los árboles jóvenes del mandala. ¿Cuentan la misma historia que la ramita de arce? El fresno rojo americano del centro del mandala que se levanta hasta la altura de la rodilla está coronado por un brote magnífico, una copa hinchada compuesta de dos grandes lóbulos flanqueados por dos lágrimas más pequeñas. Las escamas que encierran esa sustanciosa maravilla son granulosas y del color del azúcar moreno. Las marcas de las escamas del año pasado se encuentran justo una pulgada debajo; este año no ha crecido mucho. El año pasado no fue mucho mejor, pero el anterior a ese aportó dos pulgadas de crecimiento, y el trecho de madera de cuatro años es muy largo, ocho pulgadas. ¿Será que el tiempo de los dos últimos años ha sido desfavorable en algún sentido?

Un arce joven en el lado oeste del mandala muestra el mismo patrón que la ramita de arce y el fresno, aunque la diferencia entre los años no es tan marcada. Los patrones de crecimiento de un arce y un fresno medio metro más al norte rompen la tendencia. Sus ramitas han crecido más de diez pulgadas durante dos años. Esos árboles han crecido con mucha fuerza, especialmente en las ramas que miran al este. Algo más complicado que una reacción uniforme a la meteorología afecta el crecimiento de los árboles.

La variabilidad en el crecimiento se debe entre otras cosas a la competencia por la luz de los árboles jóvenes. La evolución a la baja del crecimiento del fresno del mandala puede ser culpa de la pujanza de los fresnos y arces más viejos que lo rodean. Hace cuatro años, esos árboles viejos no eran lo suficientemente altos como para que su sombra se proyectara sobre el centro del mandala. Durante los últimos tres años cada vez han dado más sombra, quitándole luz al fresno.

El crecimiento de las plantas también se ve afectado por acontecimientos que van más allá de la carrera entre tallos por la luz. Hay un gran hueco en el dosel arbóreo justo al este del mandala. Hace dos o tres años se vino abajo una jicoria ovada y arrastró a varios árboles más pequeños en su caída. Yo no presencié el derrumbe de esa jicoria en concreto, pero he visto caer otras. Las caídas de árboles empiezan con un ruido de disparos de rifle cuando se rompe la madera y falla el tronco. Sigue un silbido fuerte al arrastrarse miles de hojas por el dosel, con un ruido cada vez mayor a medida que el árbol gana velocidad. El impacto del tronco es como un enorme bombo, que se siente tanto como se oye. Sigue un efluvio de olor. Las hojas rasgadas desprenden un aroma empalagoso que se mezcla con el olor húmedo y amargo de la madera y la corteza desgarradas. Si el tronco no se parte y levanta las raíces del árbol por efecto de palanca, se abre una cavidad en el suelo y la base de la raíz se eleva hasta casi dos metros. El desbarajuste es increíble: los árboles más pequeños quedan tumbados por el suelo, las enredaderas arrancadas del dosel y se ven por todos lados ramas retorcidas. Una vez caídos, podemos

comprobar que los árboles son unos organismos enormes, como ballenas varadas. La caída de un árbol grande puede hacer pedazos una superficie de bosque del tamaño de varias casas, sobre todo si arrastra a otros.

Después de la caída del árbol, la luz entra como una tromba. Los árboles jóvenes que no han sido aplastados o ahogados por la madera caída nadan en luz y crecen rápido. Ha sido una espera larga. Aunque son pequeños y parecen jóvenes, algunos de esos árboles pueden tener decenas o cientos de años. Crecieron lentamente en la sombra, cada pocos años se murieron hasta las raíces y después rebrotaron y volvieron a dar un estirón, a la espera del momento oportuno hasta que se abrió el hueco y los liberó.

Debajo de una abertura en el dosel también cambia la cualidad de la luz. Las hojas absorben mejor algunas longitudes de onda que otras. Concretamente, absorben la luz roja, mientras que la infrarroja las atraviesa. Los seres humanos no vemos el infrarrojo porque su longitud de onda es demasiado larga para los receptores de nuestros ojos. Sin embargo, las plantas pueden "ver" tanto la luz roja como la infrarroja. Al crecer, las ramitas utilizan las proporciones relativas de las dos longitudes de onda de luz para saber dónde se encuentran en relación con otras plantas. Bajo el dosel y en condiciones de masificación predomina la luz infrarroja, porque las hojas de plantas que compiten entre sí absorben la mayoría de la luz roja. Sin embargo, a cielo abierto la proporción de luz roja se dispara. Las ramitas reaccionan cambiando su arquitectura, creciendo a lo ancho y estirando las puntas hacia la luz.

Los árboles consiguen "ver el color" mediante una sustancia química de las hojas. Esa molécula, llamada fitocromo, se da en dos formas distintas, que se alternan según la luz: el rojo hace que la molécula se ponga en posición de "encendido", mientras que el infrarrojo la pone en "apagado". Las plantas utilizan ambas formas para calcular la proporción de luz roja e infrarroja de su entorno. En la luz rojiza de la abertura del dosel predominan los fitocromos en posición de encendido, lo que provoca que a los árboles les crezcan ramas tupidas que se dirigen hacia la abertura. En la sombra del

bosque predomina el infrarrojo, y los árboles crecen verticalmente, con troncos larguiruchos y pocas ramas laterales. Toda la planta está impregnada de fitocromos, de modo que los árboles actúan como grandes ojos que perciben el color en cualquier lugar del cuerpo. Ralph Waldo Emerson, que dijo ser un globo ocular transparente, abierto al bosque, tal vez habría apreciado las capacidades superiores de los árboles en este sentido.

La inyección de luz transforma inconfundiblemente la vegetación situada justo debajo de la abertura, pero el agujero del dosel también derrama sol por el bosque circundante, incluso en el mandala, firmemente enclavado bajo una sombrilla de arce y nogal americano. Los árboles jóvenes crecen más rápido en el lado este, y las ramas que miran en esa dirección son más vigorosas que las del oeste. Aquí la ladera de la montaña está inclinada hacia el nordeste, de modo que la abertura refuerza un sesgo que ya existía.

La capa de plantas herbáceas que se extiende por el suelo también se ve afectada por la abertura. En la mitad oeste del mandala no hay *Polymnia canadensis*, que de menor a mayor altura va desde las plantas raquíticas del centro del mandala hasta los individuos vigorosos que llegan al tobillo en el extremo este. Esas plantas se han adaptado al crecimiento en los agujeros del bosque y alcanzan la altura de la rodilla en el centro de la abertura. Las plantas más altas me llegarán a los hombros el año que viene, cuando florezcan después de completar su segundo y último año de crecimiento. Las demás plantas herbáceas, la *Hepatica* y el perifollo oloroso, no dan demasiadas muestras de buscar la luz y aparentemente prosperan igual de bien en la mitad occidental y sombría del mandala que en la oriental. Puede que esa uniformidad en la superficie esconda efectos más sutiles, porque estas plantas no reaccionan ante niveles más altos de luz creciendo más alto, sino dando más fruto o emitiendo más rizomas.

Dentro de cinco años, la abertura quedará ahogada por la carrera de los árboles jóvenes hacia el dosel. Los árboles maduros de los bordes se adentrarán en la abertura y arrebatarán la luz desde arriba a los árboles jóvenes. Dentro de diez años, uno o dos árboles

jóvenes habrán ganado y las docenas de perdedores se morirán. Es una lucha breve en comparación con los siglos que viven los árboles maduros una vez alcanzan el dosel, pero la competencia entre árboles jóvenes acarrea consecuencias importantes en la composición del bosque. En la diversidad de bosques de Tennessee no hay una sola especie que siempre gane el *sprint* hacia el dosel, lo que es un reflejo de la variedad de la tierra y del carácter templado del clima.

El nogal americano caído y la ramita rota son dos puntos de un amplio continuo de alteraciones en el dosel. En un extremo de ese continuo hay trastornos enormes como los huracanes, que rara vez hacen acto de presencia, como mucho cada cien años en esta parte de Tennessee. En el otro extremo están los minúsculos agujeros que las patas de las ardillas dejan en el andamiaje del dosel. Esos agujeros son efímeros y de pequeña escala, y dan lugar a los rayos de sol que impulsan el desarrollo de las efímeras y de los árboles jóvenes que crecen a poca altura. La podredumbre de la madera y las tormentas de hielo invernales también producen pequeños agujeros en el dosel. Cada pocas horas oigo como se viene abajo una rama grande, especialmente en invierno. Las alteraciones a escala media también son comunes, y los ventarrones destacan claramente como la fuente más habitual.

En el bosque las tormentas tienen un carácter más elemental que en los territorios urbanos domesticados. La fuerza de un chaparrón es tonificante: un estallido de deleite sensorial con el olor a hojas, la luz gris y el frío. Sin embargo, una tormenta con todas las de la ley, que arranque árboles, lleva los sentidos más allá de la excitación o la emoción y los aboca al miedo. A medida que el golpeteo de la lluvia se convierte en un chubasco, el dosel se bambolea empujado por el viento. Los troncos de los árboles oscilan de un lado a otro, doblándose más allá de lo que parece posible hasta que de golpe vuelven hacia atrás. Todos mis sentidos se ponen en guardia y aguzo la mirada. Entonces el suelo da una sacudida. Al oscilar, los árboles tiran de las raíces y levantan la tierra. Tropiezo como si estuviera andando por la cubierta de un barco que cabeceara. La

tormenta confunde: tengo la vista borrosa de tanta lluvia, el oído aturdido por el rugir del viento en las hojas y el suelo se tambalea bajo mis pies. Esa confusión se concreta en un impulso de echar a correr, pero a no ser que cerca haya unas rocas u otro refugio, echar a correr no conduce a un lugar seguro. Cada tanto un pedazo de árbol se desprende y cae por entre las ramas. La imaginación campa a sus anchas y cada chasquido se convierte en el ruido de la madera al caer. Ante estas tormentas suelo corretear hasta un refugio, si lo hay, o me arrimo contra un tronco de apariencia robusta, notando su peso contra la espalda. Lo que más miedo me da es que caiga un árbol entero, pero no hay manera de disipar ese temor, así que me quedo sentado con los ojos bien abiertos hasta que la tormenta amaina. En el apogeo de la tormenta siento un consuelo extraño en mi impotencia. Nada de lo que haga puede influir en el mundo violento que me tiene atrapado, de modo que sigue la rendición y con ella llega un estado curioso: la claridad mental envuelta en un cuerpo electrizado.

La ladera de la montaña se ve azotada por tormentas fuertes varias docenas de veces cada año. No obstante, son pasajeras y el daño físico que causan tiende a concentrarse en zonas pequeñas: un pedazo de arces viejos aquí, un castaño de Indias con las raíces sueltas allá. El bosque queda picado por los huecos que dejan esas caídas. A algunas especies como los arces azucareros una abertura en el dosel les brinda un atajo hasta la cima. Sin embargo, los arces toleran la sombra, de modo que no necesitan esas aberturas del dosel para poder crecer. Para otras especies, en cambio, los huecos constituyen la única esperanza. Los tuliperos y, en menor medida, los robles, nogales americanos y nogales necesitan intensidad de luz para crecer, de modo que la supervivencia de esas especies depende del mosaico irregular de alteraciones del bosque. Las semillas de tulipero que han caído en la parte sombría del mandala tienen pocas posibilidades de germinar y sobrevivir al primer año. Las que han quedado depositadas seis metros más al este saciarán su sed de sol y competirán entre millares de candidatas para ser la semilla escogida, desarrollar su potencial y alcanzar el dosel.

Paradójicamente, la renovación del dosel depende de que se rompa y deje que la luz llegue al suelo. Cualquier cambio en la dinámica de las aberturas afectará por tanto a la viabilidad del bosque. Eso hace que me preocupe en particular el árbol larguirucho que crece detrás de la abertura cercana al mandala. Ese árbol ha ganado varios palmos desde la primavera, y sus hojas de sesenta centímetros de anchura y forma de corazón se introducen en el hueco. Especies foráneas de rápido crecimiento como esta *Paulownia tomentosa*, también conocida como árbol de la emperatriz, se están extendiendo por los bosques del este, haciéndose sitio al invadir las aberturas de luz y superar en altura a las especies autóctonas. La *Paulownia* y su socio invasor, *Ailanthus altissima*, el árbol del cielo, fabrican miles de semillas que el viento dispersa y consiguen extenderse rápido de ese modo. Son árboles especialmente aficionados a los bordes de las carreteras y a los bosques en los que se tala, pero como la mayoría de pioneros están dispuestos a invadir las aberturas después de realizar alteraciones de pequeña escala.

Los invasores de rápido crecimiento son especialmente perjudiciales para la regeneración de los árboles autóctonos que necesitan crecer a pleno sol: robles, nogales americanos, nogales y tuliperos. Cuando la *Paulownia* o el *Ailanthus* brotan en una abertura asfixian a los autóctonos, que crecen más despacio. En los bosques muy intervenidos –ya sea por incendio, tala de árboles o urbanización– los árboles foráneos pueden degradar rápidamente la diversidad de árboles autóctonos.

El estudio de las ramitas parece esotérico. Sin embargo, se trata de una impresión peligrosamente equivocada. Al contar hacia atrás las cicatrices de los brotes y calcular el crecimiento anual, no solo asisto a la lucha entre árboles autóctonos y foráneos, sino que leo el libro de contabilidad de la atmósfera. Las ramitas añaden cada año unos cuantos centímetros, y esos centímetros, sumados en todo el bosque, dan lugar a una de las mayores reservas de carbono del mundo.

Si contamos todo el crecimiento nuevo –ramitas, hojas, troncos que se vuelven más gruesos, raíces que se extienden–, probablemente este año el mandala ha tomado del aire diez o veinte kilogramos de carbono, un montón de ramitas del tamaño aproximado de un coche pequeño. Si los sumamos en toda la superficie de la Tierra, los bosques contienen aproximadamente el doble de carbono que la atmósfera, más de mil millones de millones de toneladas. Esa enorme reserva es nuestro parachoques contra el desastre. Sin bosques, buena parte del carbono estaría en el aire en forma de dióxido de carbono, lo que nos asaría en un horrible invernadero.

Al quemar petróleo y carbón, hemos devuelto a la atmósfera unos depósitos de carbono que llevaban mucho tiempo enterrados. Sin embargo, los bosques nos han salvado de lo peor del cambio climático resultante. Los bosques y los océanos han absorbido la mitad del carbono que hemos quemado. Últimamente el efecto parachoques de los bosques ha disminuido: la velocidad a la que los árboles pueden absorber el carbono adicional de la atmósfera tiene un límite, especialmente si incrementamos la quema de combustibles fósiles. No obstante, los bosques siguen protegiéndonos de las consecuencias más funestas de nuestro derroche. El estudio de las ramitas y las cicatrices de los brotes es por tanto el estudio de nuestro bienestar futuro.

3 DE DICIEMBRE

LA HOJARASCA

Estoy echado boca abajo en el borde del mandala, listo para sumergirme bajo la hojarasca. La hoja de roble rojo americano que tengo bajo la nariz está fresca, protegida de los hongos y de las bacterias por el efecto secante del sol y el viento. Como las demás de la superficie, esta hoja de roble permanecerá intacta durante casi un año para desmenuzarse finalmente con las lluvias del próximo verano. Estas hojas de la superficie forman una costra que esconde y hace posible a la vez el drama de debajo. Protegidos tras el escudo de hojas superficiales, el resto de desechos otoñales quedan pulverizados en el mundo oscuro y húmedo de la hojarasca. A lo largo del año, la tierra sube y baja como la barriga al respirar, hinchada por una rápida inspiración en octubre y luego deprimida a medida que la fuerza vital se traslada al cuerpo del bosque.

Debajo de la hoja de roble rojo, las demás están húmedas y apelmazadas. Levanto un sándwich de tres hojas de arce y nogal americano. De la abertura emanan varios efluvios: en primer lugar el fuerte olor a moho de la descomposición y luego el intenso aroma de las setas frescas. Los olores tienen el matiz de tierra propio de un suelo sano. Esas sensaciones son lo más cerca que puedo llegar a "ver" la comunidad microbiana del suelo. Los receptores de luz y los cristalinos de mis ojos son demasiado grandes como para descomponer los fotones que rebotan de las bacterias, los protozoos y de muchos hongos, pero con la nariz puedo detectar las moléculas que desprende el mundo microscópico, lo que me concede un vistazo dentro de mi ceguera.

A nadie se le concede más que ese vistazo. De los mil millones de microbios que viven en el medio puñado de tierra que he extraído, solo un uno por ciento se puede cultivar y estudiar en el laboratorio. La interdependencia entre el restante noventa y nueve por ciento es tan alta, y nuestra ignorancia sobre cómo imitar o reproducir esos vínculos es tan profunda que los microbios se mueren si se los aísla del todo. La comunidad microbiana es por lo tanto un gran misterio y a la mayor parte de sus habitantes la humanidad no les ha puesto nombre ni los conoce.

Al cincelar los bordes de ese misterio, se desprenden joyas del bloque de ignorancia que vamos erosionando. El olor a tierra que me colma el olfato procede de una de las joyas más brillantes, los actinomicetos, extrañas bacterias semicoloniales de las que los biólogos del suelo han extraído buena parte de los antibióticos más eficaces. Igual que las sustancias curativas de digitales, sauces y *Spiraea*, los actinomicetos utilizan esas moléculas en su lucha con otras especies, segregando antibióticos que someten o matan a sus competidores o enemigos. A través de la micología medicinal sacamos partido de esa lucha.

La producción de antibióticos es una pequeña parte del enorme y variado papel de los actinomicetos en la ecología del suelo. Hay tanta diversidad en los hábitos alimentarios de este tipo de bacterias como la que existe en todo el reino animal. Algunos actinomicetos viven como parásitos dentro de otros animales, mientras que otros se aferran a las raíces de las plantas, mordisqueándolas al tiempo que se enfrentan a bacterias y hongos más perjudiciales. Algunos de estos habitantes de las raíces pueden volverse contra sus huéspedes y matar a la planta asesinándola subterráneamente. Los actinomicetos también cubren el cadáver de otros animales más grandes, descomponiéndolos en humus, el ingrediente milagroso y oscuro de los suelos productivos. Los actinomicetos están por todas partes, pero rara vez entran en nuestra conciencia. Sin embargo, parece que intuimos su importancia. Nuestros cerebros están diseñados para apreciar su característico olor "a tierra" y para reconocer el aroma como señal de buena salud. El suelo que se ha

esterilizado o que es demasiado húmedo o seco para la mayoría de actinomicetos tiene un olor amargo y desagradable. Tal vez nuestra larga historia evolutiva como cazadores-recolectores y agricultores ha enseñado a nuestras vías nasales a reconocer la tierra fértil y nos ha vinculado subconscientemente a los microbios del suelo que definen el nicho ecológico humano.

Los demás miembros de la comunidad microbiana son más difíciles de identificar dentro del olor complejo que desprende el vientre de la tierra. Las esporas fúngicas contribuyen al olor acre a moho, mientras que las bacterias liberan aromas agradables al descomponer los restos de hojas muertas. Pequeños efluvios de metano se elevan de los suelos empapados en los que se esconden los microbios anaeróbicos. Muchos otros microbios viven más allá del alcance de nuestro olfato. Las bacterias captan el nitrógeno del aire y lo introducen en la economía biológica. Otros consiguen el nitrógeno de animales muertos y lo devuelven al aire. Los protistas se alimentan de los hongos y bacterias que cubren las hojas en descomposición. Ese mundo secreto microbiano hace como mínimo mil millones de años que existe. Las bacterias en particular llevan a cabo unos trucos bioquímicos que las han alimentado desde los primeros años de la vida, hace tres mil millones de años. El olor que detecto procede por tanto de un mundo oculto que es amplio y profundo, complejo y antiguo.

Puede que los microbios sean invisibles, pero mi ventana al suelo permite ver muchas más cosas. Unos filamentos fúngicos de un blanco inmaculado crujen sobre unas hojas negras. Alrededor de unas arañas naranjas bailan unos insectos hemípteros rosas. Un colémbolo de un blanco fantasmal se mueve entre las migas oscuras de las hojas en descomposición del año pasado. Todo es en miniatura. Una semilla de arce enterrada descuella sobre los animales igual que una mansión convierte a su dueño en un enano. El ser vivo de más tamaño es una raicilla, una parte ínfima de una planta o quizá de un árbol, ya sea joven o adulto. Apenas es más gruesa que un alfiler, pero domina el huequecito que he practicado en la hojarasca.

La raicilla es un cable liso de color crema del que brota una bruma de pelo que se irradia a la matriz del suelo. Cada uno de esos pelos es una delicada extensión de la superficie de la raíz, un tentáculo que se extiende desde una célula vegetal. Los pelos se deslizan alrededor de las partículas de arena y se adentran en las películas de agua que se aferran al suelo. Al aumentar considerablemente la superficie de la raíz, estos pelos permiten que la planta capte agua y nutrientes a los que no podría acceder de otro modo. Los pelos radicales son tan importantes que si se rompe su adherencia al suelo al desarraigarlos o trasplantarlos, la planta se marchita y muere, a no ser que el jardinero la riegue con más frecuencia de la habitual.

Los pelos radicales extraen agua y nutrientes disueltos del suelo, y los mandan hacia arriba para saciar la sed de las hojas y proporcionar los minerales que las plantas necesitan para sus proyectos constructivos. La energía para llevar a cabo ese movimiento ascendente procede en su mayor parte de la fuerza de evaporación del sol, transmitida hacia abajo a través de las columnas de agua del xilema. Sin embargo, los pelos radicales no son solo extremos de cañería pasivos que aspiran del suelo como la bomba de una fuente. Su relación con la física y la biología del suelo es recíproca.

La aportación más simple de las raíces al suelo son los iones de hidrógeno, que los pelos radicales extraen para ayudar a que se desprendan los nutrientes adheridos a las partículas de arcilla. Cada una de estas partículas tiene una carga negativa, de modo que los minerales con carga positiva como el calcio y el magnesio quedan pegados a la superficie de arcilla. Esa atracción permite que el suelo conserve sus minerales sin que se los lleve la lluvia, pero el vínculo también evita que las plantas los incorporen al flujo de agua que sube desde las raíces. La respuesta de los pelos radicales es empapar las partículas de arcilla en iones de hidrógeno cargados positivamente. Estos desprenden de la superficie de la arcilla algunos iones que se le habían pegado. Los minerales liberados flotan en películas de agua que rodean a la arcilla y el fluir del agua

los lleva hasta los pelos radicales. Los minerales más valiosos se desprenden fácilmente, de manera que los pelos radicales solo tienen que soltar una pequeña cantidad de iones de hidrógeno para recibir su recompensa. Una aplicación más vigorosa de los iones de hidrógeno, como la que acompaña a la lluvia ácida, libera los elementos más tóxicos como el aluminio.

Las raíces también proporcionan al suelo grandes cantidades de materia orgánica. A diferencia de la caída de hojas de los árboles, la mayoría de aportaciones de las raíces las segregan ellas mismas y no son el vertido de productos de desecho. Ciertamente, las raíces muertas enriquecen el suelo, pero su contribución es ínfima en comparación con la maraña de azúcares, grasas y proteínas que producen las raíces vivas en el suelo circundante. Esa vaina gelatinosa de alimento alrededor de la raíz genera un frenesí de actividad biológica, especialmente cerca de los pelos radicales. Buena parte de la vida del suelo se agolpa en la estrecha zona de la raíz o rizosfera, que parece una cafetería a la hora del almuerzo. La densidad microbiana es cien veces más alta ahí que en el resto del suelo: los protistas se apiñan y se alimentan de microbios, los nematodos y los insectos microscópicos se abren camino entre la multitud, y los hongos mojan sus zarcillos en la sopa viva.

La ecología de la rizosfera es en gran parte un misterio, difícil de estudiar debido a su fragilidad. Está claro que las plantas estimulan la vida en el suelo, pero ¿qué reciben a cambio? Puede que la explosión de diversidad biológica en la rizosfera proteja de enfermedades a las raíces, del mismo modo que es menos probable que las malas hierbas invadan un bosque diverso que un campo desnudo. Sin embargo, se trata de una especulación. Somos como unos exploradores en la entrada de una jungla oscura, escudriñando las formas extrañas del interior del suelo y poniéndole nombre al puñado de novedades más obvias, pero sin entender gran cosa.

A pesar de la oscuridad, hay una relación en la jungla de la rizosfera que es tan importante que incluso los exploradores más apresurados tropiezan con sus enredaderas y miran hacia arriba atónitos. A

través de la ventana que he abierto en la hojarasca puede verse a los socios de las plantas en esa relación sorprendente. La mayor parte del suelo está cubierto de hebras fúngicas a modo de una telaraña subterránea. Algunas son de un gris oscuro y se extienden de forma aparentemente caprichosa, cubriendo lo que encuentran a su paso. A otras los filamentos blancos les crecen en líneas ondulantes que se alejan y se reúnen como los ríos de un delta. Las hebras fúngicas, o hifas, son diez veces más finas que un pelo radical; tanto, que pueden meterse entre partículas microscópicas del suelo y penetrar en la tierra mucho más eficazmente que las torpes raíces. En una pizca de tierra puede haber unos pocos centímetros de pelo radical, pero en cambio varias decenas de metros de hifas rodeando cada partícula de arena o cieno. Muchos de estos hongos se las arreglan solos y digieren restos en descomposición de hojas y de otras criaturas muertas. Algunos, sin embargo, se abren camino hasta la rizosfera y entablan una conversación con la raíz. Esa conversación es el principio de una relación antigua y vital.

El hongo y la raíz se saludan con señales químicas y, si hay buena sintonía, el hongo extiende las hifas preparado para abrazarse. En algunos casos, la planta reacciona dejando crecer minúsculas raicillas para que los hongos las colonicen. En otros, la planta permite que el hongo atraviese las paredes celulares de la raíz y esparza las hifas en el interior de las células. Una vez allí, las hifas se dividen en dedos y forman en el interior de las células radiculares una red en miniatura parecida a una raíz. Parece una invasión patológica. Yo estaría enfermo si tuviera las células infestadas de hongos de esa manera. Sin embargo, en este matrimonio con las raíces la capacidad de las hifas de atravesar las células de las plantas se utiliza de forma saludable. La planta proporciona al hongo azúcares y otras moléculas complejas, y el hongo le corresponde con un flujo de minerales, sobre todo fosfatos. Esa unión se basa en las fortalezas de ambos reinos: las plantas son capaces de fabricar azúcares a partir del aire y la luz del sol,

mientras que los hongos son capaces de extraer minerales de las minúsculas grietas del suelo.

El descubrimiento de la relación entre hongo y raíz, o micorrizal, fue el resultado indirecto de los intentos del rey de Prusia de cultivar trufas. Su biólogo no logró domesticar el valioso hongo, pero en cambio descubrió que la red fúngica subterránea que produce trufas está conectada a las raíces de los árboles. Más adelante demostró que esos hongos no son parásitos, como supuso al principio, sino que actúan como "nodrizas", llevando nutrientes a los árboles y aumentando su ritmo de crecimiento.

A medida que los botánicos y los micólogos se abrían camino en el reino vegetal y observaban muestras de raíces en el microscopio, descubrieron que casi todas las plantas tienen hongos micorrizales envueltos en las raíces o alrededor de ellas. Muchas plantas no pueden vivir sin sus socios fúngicos. Otras son capaces de crecer solas, pero acaban raquíticas y débiles si no logran unir las raíces con un hongo. En la mayor parte de las plantas, los hongos son la principal superficie de absorción del suelo, mientras que las raíces solo actúan como conexión con esa red. Una planta es por tanto un dechado de cooperación: la fotosíntesis es posible gracias a antiguas bacterias incrustadas en las hojas, la respiración cuenta de forma parecida con ayudantes internos, y las raíces funcionan como conectores a una red subterránea de hongos beneficiosos.

Algunos experimentos recientes muestran que las micorrizas llevan esta relación todavía más lejos. Nutriendo a las plantas con átomos radioactivos, los fisiólogos botánicos han podido seguir la circulación de la materia en el ecosistema del bosque y han descubierto que los hongos actúan como conductos entre plantas. Las micorrizas son promiscuas al abrazar las raíces de las plantas. Plantas que en apariencia son independientes están conectadas físicamente a través de sus amantes fúngicos subterráneos. El carbono extraído de la atmósfera y convertido en azúcar por el arce azucarero de encima del mandala puede verse transportado a las raíces del árbol y donado a un hongo. Entonces el hongo o bien utilizará el azúcar para sí mismo o se lo cederá al nogal americano, a

otro arce o a un calicanto. La individualidad no es por tanto más que una ilusión en la mayoría de las comunidades vegetales.

La ciencia ecológica aún tiene que acabar de asimilar el descubrimiento de la red subterránea. Todavía pensamos en el bosque como un sistema gobernado por la competencia sin tregua por la luz y los nutrientes. ¿Cómo afecta a la lucha de la superficie ese reparto de recursos en el nivel micorrizal? ¿Podemos estar seguros de que la carrera tras la luz no es una ilusión? ¿Podría ser que algunas plantas parasitaran a otras y utilizaran los hongos como simpáticos timadores, o los hongos atenúan y liman las diferencias entre plantas?

Sean cuales fueren las respuestas a esas preguntas, está claro que ese viejo concepto de la naturaleza "de colmillos y garras ensangrentados" tiene que actualizarse. Necesitamos una metáfora nueva para el bosque, una imagen que nos permita visualizar que las plantas comparten y compiten. Quizá el mundo de las ideas humanas sea el paralelo más cercano: los pensadores están comprometidos en una lucha personal por la sabiduría y algunas veces por la fama, pero lo hacen nutriéndose de unos recursos compartidos que enriquecen con su propia obra, dando impulso de ese modo a sus "competidores" intelectuales. Nuestra mente es como un árbol, raquítica si se desarrolla sin el hongo alimenticio de la cultura.

La asociación entre hongos y plantas que sostiene el mandala es un matrimonio antiguo, que se remonta a los primeros pasos vacilantes de las plantas sobre la tierra. En un principio las plantas terrestres eran filamentos que se extendían y que no tenían raíces, ni tampoco tallos ni verdaderas hojas. Sí disponían, en cambio, de hongos micorrizales que se introducían en las células de las plantas y las ayudaban a adaptarse a su nuevo mundo. Las pruebas de esa asociación están grabadas en los fósiles más nítidos de las plantas pioneras, y con ellos se ha podido reescribir la historia de las plantas. Las raíces que pensábamos eran una de las primeras partes, y de las más fundamentales, del cuerpo de las plantas terrestres resulta que son una improvisación evolutiva. Los hongos eran los

primeros exploradores subterráneos de las plantas; puede que las raíces se desarrollaran para buscar y abrazar a los hongos, y no para encontrar y absorber nutrientes directamente del suelo.

Así pues, la cooperación añade otra joya a su corona evolutiva.

La mayoría de las transiciones importantes en la historia de la vida se han llevado a cabo a través de empresas conjuntas como la unión entre las plantas y los hongos. Las bacterias simbióticas no solo viven dentro de las células de todos los animales de un cierto tamaño, sino que los hábitats en los que viven se componen de relaciones simbióticas o están modificados por ellas. Las plantas terrestres, los líquenes y los arrecifes de coral son todos resultado de la simbiosis. Si despojáramos al mundo de ese trío, se quedaría prácticamente desnudo y el mandala se transformaría en un montón de rocas cubiertas de pelusa bacteriana. Nuestra propia historia es un reflejo de esa pauta: la revolución agraria que desencadenó el auge de la humanidad surgió al entablar una mutua dependencia con el trigo, el maíz y el arroz, y al unir nuestro destino al de los caballos, las cabras y el ganado.

El egoísmo genético enciende el motor de la evolución, pero se manifiesta en la acción cooperativa además de en la soledad del interés personal. La economía natural tiene tantos sindicatos como capitalistas ladrones, tanta solidaridad como espíritu emprendedor individual.

La mirilla que abrí en el suelo me ha permitido entrever maneras nuevas de pensar sobre la evolución y la ecología. ¿O no son tan nuevas? Quizá los científicos del suelo estén redescubriendo y profundizando en lo que nuestra cultura ya sabe y ha incrustado en el lenguaje. Cuanto más sabemos sobre la vida del suelo, más acertados se vuelven los símbolos del lenguaje: “raíces”, “arraigo”. Esas palabras no solo reflejan una conexión física con un lugar, sino una reciprocidad con el entorno, una dependencia mutua con otros miembros de la comunidad y los efectos positivos de las raíces en su hogar. Todas esas relaciones están engastadas en una historia tan profunda que la individualidad ha empezado a disolverse y el desarraigo es imposible.

6 DE DICIEMBRE

BESTIARIO SUBTERRÁNEO

Dos grupos de animales dominan nuestra experiencia cotidiana del reino animal: los vertebrados y los insectos. Esas dos ramas del árbol de la vida ocupan la mayor parte del campo visual zoológico de nuestra cultura, aunque solo representen una fracción de la diversidad estructural de los animales. Los biólogos dividen el reino animal en treinta y cinco grupos o filos, cada uno de los cuales se define por un plan corporal característico. Los vertebrados e insectos representan dos subfilos entre esos treinta y cinco.

¿Por qué pueblan nuestra imaginación las aves y las abejas, y relegamos a los nematodos, platelmintos y demás bestiario del mundo a un cuarto trasero y polvoriento de nuestra conciencia? La respuesta obvia es que no nos topamos a menudo con los nematodos. O eso creemos. Una respuesta más profunda intentaría explicar por qué la mayor parte de la diversidad animal permanece oculta para nosotros. Salimos bastante por ahí, ¿por qué no nos cruzamos con los vecinos?

Desafortunadamente para la riqueza de nuestra experiencia, vivimos en un rincón extraño y extremo del hábitat disponible en el mundo. Los animales que nos encontramos son los pocos que también habitan ese nicho poco común.

La primera causa de nuestro alejamiento es nuestro tamaño. Somos decenas de miles de veces más grandes que la mayor parte de los seres vivos, así que nuestros sentidos resultan demasiado torpes para detectar a los liliputienses que se mueven a nuestro alrededor o que revolotean encima de nosotros. Las bacterias, los

protistas, los ácaros y los nematodos asientan su hogar en las montañas de nuestros cuerpos, ocultos por el desajuste de escala. Vivimos en la pesadilla del empirista: hay una realidad que se encuentra mucho más allá de nuestra percepción. Nuestros sentidos nos han engañado durante milenios. Solo cuando dominamos el cristal y fuimos capaces de fabricar lentes pulidas y claras pudimos observar con el microscopio y darnos cuenta por fin de la enormidad de la ignorancia en que estábamos.

El hecho de vivir en tierra es otro factor que nos distancia del resto del reino animal y agrava la desventaja del gigantismo. Nueve décimas partes de las principales ramas del reino animal se encuentran en el agua: en el mar, en los arroyos y lagos de agua dulce, en las grietas acuosas del suelo, o en el interior húmedo de otros animales. Las excepciones secas incluyen a los artrópodos terrestres (sobre todo insectos) y a la minoría de vertebrados que se mudaron a tierra (la mayoría de las especies de vertebrados son peces, de modo que la vida terrestre es poco corriente incluso para un vertebrado). La evolución nos ha arrancado de nuestras madrigueras húmedas y hemos dejado atrás a nuestros parientes. Así pues, nuestro mundo está poblado por extremistas, lo que nos da una visión distorsionada de la auténtica diversidad de la vida.

Mi primer zambullido en el suelo me ayudó a salir de mi extraña reclusión ecológica y me permitió echar un vistazo al tesoro que vive bajo la superficie. Me ha entrado más sed, así que me sumerjo de nuevo. En tres puntos del borde del mandala aparto un pequeño grupo de hojas, abro un agujerito en la hojarasca, miro hacia abajo con la lupa y después vuelvo a colocar las hojas en su sitio. El contraste con el mundo de la superficie es asombroso. Arriba, aparte de un herrerillo de paso, parece que yo esté solo en el bosque. Sin embargo, los animales abundan a muy pocos centímetros de la superficie de la hojarasca.

El animal más grande al que sorprendo en mi incursión es una salamandra acurrucada en la copa de una hoja de roble caída. La salamandra me cabría en la uña del pulgar, pero es cientos de veces más grande que el resto de los animales que me encuentro. Esta

salamandra es un cocodrilo entre pececillos, y a todos ellos los observa una ballena miope.

Mientras miro detenidamente con la lupa, veo un movimiento parpadeante y pequeñas ondulaciones en los filamentos fúngicos y las hojas muertas. Fuerzo la vista hasta que me duele, pero no logro identificar a los animales minúsculos que generan esos movimientos. Me he encontrado con un muro perceptivo. Afortunadamente, hay muchas cosas que ver de este lado del muro. Las criaturas más comunes son los colémbolos. Si el mandala es representativo de la mayoría de los ecosistemas terrestres, puede que haya hasta cien mil colémbolos dentro de sus límites. Así pues, no es de extrañar que me encuentre como mínimo a uno de esos animales diminutos cada vez que levanto una hoja. A simple vista son motas indefinidas, pero con la lupa puedo distinguir seis patas cortas que asoman de un cuerpo con forma de barril. Todos los individuos que examino son blancuzcos y húmedos, sin ojos. Estos caramelos de goma animados pertenecen a la familia *Onychiuridae* de colémbolos. La falta de pigmento y la ceguera son un reflejo de la especialización subterránea del grupo: a diferencia de otros colémbolos, estos animales nunca se aventuran hasta la superficie. Los *Onychiuridae* han perdido la fúrcula, el apéndice que los colémbolos utilizan para saltar y de donde procede su nombre en inglés, *springtails*. Es de suponer que una catapulta montada en el abdomen no le resulte de demasiada utilidad a un animal cuya vida transcurre entre las grietas del suelo. En lugar de alejarse de un salto ante los depredadores, los *Onychiuridae* los disuaden liberando sustancias químicas tóxicas que guardan en unas glándulas de la piel. Con ellas logran rechazar a los ácaros depredadores y a otros carnívoros comunes bajo tierra, pero deben ser menos eficaces contra los picos de los chochines y los pavos.

Cien mil colémbolos producen muchas boñiguillas. El mandala contiene un millón de excrementos de colémbolos, un millón de paquetes en miniatura de hongos o plantas convertidos en abono. Las esporas de las bacterias y los hongos pasan por los intestinos sin que se digieran, de modo que los colémbolos actúan como

dispersores de la comunidad microbiana, pero también como líderes del suelo en fabricación de abono. Los colémbolos ejercen asimismo una influencia importante en el otro extremo de su tracto intestinal. Aunque todavía no conocemos los detalles de esa relación, parece que los colémbolos refuerzan la asociación micorrizal entre los hongos y las raíces de las plantas. Se alimentan de filamentos fúngicos y de ese modo favorecen a unos hongos y eliminan a otros. Los colémbolos son como vacas en los pastos: regulan el crecimiento de su propio alimento al recortarlo continuamente y al fertilizar el terreno con sus boñigas.

Desgraciadamente, la posición central de los colémbolos en la vida del suelo no se refleja en su taxonomía. Disponen de seis patas, pero sus extrañas piezas bucales (alojadas en una bolsa reversible de la cabeza) y su ADN característico delatan que son un grupo hermano de los insectos. Al estar a caballo entre los insectos y los demás invertebrados, pocos biólogos reivindican a los colémbolos, y no tenemos un conocimiento satisfactorio de su vida. Sin embargo, son el terreno evolutivo del que surgieron los insectos que habitan el mundo de la superficie.

Los colémbolos son los animales más numerosos de mis muestras, pero debido al reducido tamaño de sus cuerpos, representan menos del cinco por ciento del peso total de los animales subterráneos del bosque. En relación con su importancia ecológica, son un grupo de animales con pocas especies. El planeta cuenta con seis mil especies de colémbolos, pero en cambio hay un millón de especies de insectos (y más de cien mil especies de mosca). A medida que me muevo por el mandala, encuentro muchos colémbolos, aparentemente todos del mismo tipo. Los demás animales con los que me topo son diferentes en cada muestra, lo que indica una diversidad taxonómica más alta.

Tras los colémbolos, los animales visibles más abundantes son otros artrópodos: arañas, mosquitos y milpiés. La evolución ha modificado el plan corporal acorazado de los artrópodos hasta convertirlos en el mundo de diseños de fantasía de un ingeniero. La armadura se ha aplanado dando lugar a las alas de las moscas, y se

ha afilado y ha dado lugar a los quelíceros de las arañas. Las patas articuladas se han convertido en pinzas que tejen seda, piezas bucales con las que comer setas y botas de escalada todoterreno. Ningún grupo de animales puede compararse con los artrópodos en cuanto a diversidad de formas corporales, aunque todas estén construidas sobre el mismo plan básico: una caja exterior segmentada que se muda cada tanto para permitir nuevos crecimientos.

El plan corporal del artrópodo está bien representado en el mandala, pero no es el único. Entre las hojas muertas del suelo del mandala pastan caracoles diminutos. Algunos son versiones juveniles de los caracoles más grandes que se alimentan en la superficie del mandala, pero otras especies pasan toda la vida envueltos en el abrazo húmedo de la hojarasca. El caparazón del caracol es una armadura excelente, aunque más simple y menos versátil que el traje articulado que lo reviste todo. Al no mudar, los caracoles no pueden encerrar completamente su cuerpo dentro del armazón. Así pues, son vulnerables a un ataque a través de las aberturas del caparazón. Muchos caracoles del mandala han reducido ese riesgo bloqueando parcialmente la boca de su caparazón con extensiones parecidas a dientes, algunas de ellas tan bien desarrolladas que hay poco espacio para que el cuerpo del caracol se meta entre ellas cuando la parte carnosa del animal sale del caparazón para alimentarse.

Los caracoles deben su éxito a la habilidad con la que utilizan la lengua. Son los mejores lamedores del mundo y pocas superficies del planeta escapan a su atención. La lengua, la rádula, es una tira dentada que el caracol asoma y luego retira raspando lo que haya debajo. Al volver a la boca, la rádula pasa por encima de un labio inferior rígido, lo que provoca que la rádula se doble y que los dientes se ericen. Cada diente es una cuchilla buldócer que penetra en la superficie de abajo, lo que palea alimento a la boca. Ese cruce entre cinta transportadora y cepillo de carpintero es la llave que abre el mundo a los caracoles. Nosotros miramos una roca y no vemos

más que piedra, mientras que para los caracoles la roca está untada con una capa de mantequilla y jalea.

Sigo con mi zambullida subterránea y me encuentro otra forma corporal más, el "gusano". Algunos parecen familiares, como los gusanos de tierra segmentados y los parientes diminutos de los gusanos de tierra, la familia *Enchytraeidae*. De todos modos, me fijo en estas formas familiares durante algunos segundos hasta que reclama mi atención otro gusano más raro que descansa en el borde rasgado de una hoja. A este último solo se le puede ver con la ayuda de la lupa y se encuentra en la película de agua que cubre la hoja. Mientras observo, el gusano se yergue, se retuerce en el aire y cae de nuevo al agua. El movimiento a sacudidas identifica al gusano como un nematodo. A diferencia de los gusanos de tierra y los *Enchytraeidae*, este animal no tiene segmentos corporales, y la cabeza y la cola terminan en punta. Puede que en el mandala haya mil millones de nematodos, la mayoría tan pequeños que solo puede descubrirlos un microscopio potente. Algunos son parásitos, otros depredadores que se mueven libremente, y unos últimos se alimentan de plantas y hongos. Solo los artrópodos tienen formas de alimentarse y papeles ecológicos más variados. Sin embargo, al ser tan pequeños y tan aficionados al agua, los nematodos viven en la oscuridad científica. Las pocas personas que estudian a estos gusanos presumen de que si desapareciera toda la materia del universo y solo quedaran los nematodos, se conservaría la forma del planeta, convertida en una bruma de hongos. Las formas de los animales, las plantas y los hongos todavía podrían distinguirse en la niebla de color crema y, al estar tan especializados los nematodos, los habitantes originales de esas formas aún serían identificables. Dime qué gusanos tienes y te diré quién eres.

Mi incursión en la superficie exterior del suelo del mandala me ha permitido observar más diversidad de diseños corporales animales que los que se podrían encontrar en un zoo entero. Debajo de mis pies hay multitudes que se arrastran, se retuercen y se contorsionan. Sin embargo, parece que aquí arriba, en el aire libre

de encima del mandala, estoy solo. El calor y la humedad del suelo ayudan a hacer posible el despilfarro zoológico, pero esas condiciones favorables no servirían de nada si la tierra no estuviera bien provista. La muerte es el principal proveedor de alimento del suelo. El destino de todos los animales terrestres, las hojas, las partículas de polvo, los excrementos, los troncos de los árboles y los sombreretes de las setas es el suelo. Todos estamos destinados a atravesar el oscuro inframundo y alimentar a otras criaturas al partir. La economía humana no tiene equivalente al monopolio del suelo, que lo abarca todo. Algunos sectores de nuestra economía tienen más poder que otros, pero no hay ninguna industria que consiga procesar y sacar provecho del trabajo de todos los demás. La banca se acerca, pero las operaciones con dinero en efectivo se le escapan. En la naturaleza, sin embargo, no hay forma de librarse de la profecía de Isaías: "su raíz se descompondrá y sus brotes se desvanecerán como el polvo". Los descomponedores y sus socios llenan el suelo de una actividad bulliciosa y variada. Así pues, el aparente predominio del mundo de la superficie es una ilusión. Como mínimo la mitad de la actividad del mundo discurre bajo la superficie.

A fin de cuentas, nuestro tamaño y el hecho de ser terrestres no solo nos oculta la diversidad del bestiario, sino la verdadera naturaleza de la fisiología de la vida. Somos adornos voluminosos sobre la piel de la vida y nos movemos por la superficie, solo vagamente conscientes de las multitudes microscópicas que forman el resto del cuerpo. Mirar debajo de la superficie del mandala es como apoyarse ligeramente en la piel del cuerpo y oír el pulso.

26 DE DICIEMBRE

LAS COPAS DE LOS ÁRBOLES

Es mediodía y el cielo está despejado, pero el sol no cae sobre el mandala. En este punto la ladera de la montaña está inclinada hacia el noreste, lejos del sol bajo, y cuesta arriba el acantilado impide que llegue luz directa. Los rayos oblicuos salvan el acantilado e iluminan las copas de los árboles, dando lugar a una línea divisoria entre luz y sombra que separa a los árboles a tres metros y medio del suelo. Esa línea divisoria se irá hundiendo día a día hasta que en febrero el sol esté lo suficientemente alto para besar el suelo de nuevo después de una larga ausencia.

Cincuenta metros cuesta abajo, cuatro ardillas grises holgazanean en las ramas de arriba, soleadas, de una jicoria ovada. Las miro durante una hora y la mayor parte del tiempo están tumbadas al sol, todas despatarradas. Parecen sociables y de vez en cuando se mordisquean las unas a las otras las patas traseras o la cola. Cada tanto una deja de tomar el sol, muerde las ramas muertas recubiertas de hongos y vuelve a sentarse en silencio con las demás.

Esta escena de tranquilidad esciúrida me alegra inexplicablemente. Quizá veo y oigo pelearse tan a menudo a las ardillas que la calma de hoy me parece especialmente digna de atención. Sin embargo, hay algo más detrás de mi gozo; me siento liberado de una carga que pesaba sobre mi mente sobreejercitada. Ver a los animales salvajes pasándoselo bien juntos y disfrutando de su mundo es algo muy inmediato y real, aunque esa realidad está totalmente ausente de los manuales y de los artículos académicos

sobre animales y ecología. Esto nos muestra una verdad, absurda de tan simple.

No se trata de que la ciencia esté equivocada o sea mala. Al contrario, la ciencia, bien practicada, nos ayuda a profundizar en nuestra relación con el mundo. Sin embargo, pensar de una forma exclusivamente científica tiene su peligro. El bosque se convierte en un diagrama, los animales pasan a ser mecanismos, y el funcionamiento de la naturaleza se convierte en un gráfico ingenioso. La cordialidad que hoy se muestran las ardillas parece una refutación de esa estrechez. La naturaleza no es una máquina. Estos animales sienten. Están vivos; son nuestros primos, con la experiencia compartida que el parentesco implica.

Y parece que les gusta el sol, un fenómeno que no se trata en ningún lugar del currículo de la biología moderna.

Desgraciadamente, demasiado a menudo la ciencia moderna no puede o no quiere visualizar o sentir lo que experimentan los otros. Ciertamente, la táctica "objetiva" de la ciencia puede ser útil para entender partes de la naturaleza y para liberarnos de algunas ideas preconcebidas. La afición de la ciencia moderna por analizar desapasionadamente el comportamiento animal surgió como reacción a los naturalistas victorianos y sus predecesores, que veían la naturaleza entera como una alegoría que confirmaba sus valores culturales. Sin embargo, una táctica solo es una forma de empezar a jugar, no una visión coherente de todo el juego. La objetividad de la ciencia se despoja de algunos supuestos, pero adopta otros que, vestidos de rigor académico, pueden producir arrogancia e insensibilidad ante el mundo. El peligro está en confundir el alcance limitado de nuestros métodos científicos con el verdadero alcance del mundo. Puede ser útil o conveniente describir la naturaleza como un diagrama de flujos o a un animal como una máquina, pero esa utilidad no debería confundirse con una confirmación de que nuestros supuestos restrictivos corresponden a la forma del mundo.

No es una casualidad que la arrogancia de la ciencia aplicada con estrechez de miras sirva a las necesidades de la economía industrial. Las máquinas se compran, se venden y se desechan; los primos

alegres no. Anteayer, el día de Nochebuena, el servicio forestal de Estados Unidos autorizó la tala comercial de ciento veinte mil hectáreas de bosque primario en el Bosque Nacional Tongass, más de mil millones de mandalas de un metro cuadrado. Se movieron las flechas en un diagrama de flujos y se cambiaron las cantidades de madera en unos gráficos. La ciencia forestal moderna dio muestras de su perfecta integración con los mercados globales de materias primas; no había que traducir ni el lenguaje ni los valores.

Los modelos científicos y las metáforas de máquinas son útiles, pero tienen sus límites. No pueden decirnos todo lo que queremos saber. ¿Qué hay más allá de las teorías que le imponemos a la naturaleza? Este año he intentado olvidarme de las técnicas científicas y escuchar: acudir a la naturaleza sin una hipótesis, sin un plan para la obtención de datos, sin un guion de clase para darles respuestas a los alumnos, sin máquinas ni sondas. Me he dado cuenta de lo valiosa que es la ciencia, pero a la vez de lo limitado de su alcance y espíritu. Es una pena que en general la práctica de escuchar no esté presente en la formación de los científicos. Su ausencia hace que la ciencia falle innecesariamente. Somos más pobres por ese motivo, y puede que más dañinos. ¿Qué regalos de Navidad ofrecería a sus bosques una cultura que escuchara?

¿Cuál fue la intuición que se me perfiló mientras las ardillas disfrutaban del sol? No fue la de alejarme de la ciencia. Entiendo mejor a los animales al conocer sus historias, y la ciencia es una buena manera de profundizar en esa comprensión. Más bien me di cuenta de que todas las historias están parcialmente envueltas en ficción: la ficción de simplificar las hipótesis, de la miopía cultural y del orgullo del narrador. Aprendí a deleitarme con las historias sin confundirlas con la naturaleza brillante e inefable del mundo.

31 DE DICIEMBRE

OBSERVAR

El sol débil del atardecer cae sobre la ladera que mira hacia el oeste, al otro lado del valle. La luz de matices rojizos se refleja en la corteza de la masa de árboles y le da al bosque un resplandor gris púrpura. A medida que el sol se pone, una línea de sombra sube por la ladera y apaga el cálido reflejo, lo que tiñe el bosque de un marrón oscuro. Conforme el sol va bajando, los rayos se dirigen al cielo, por encima de la montaña. El carmesí se convierte en una neblina en el horizonte, y el azul del cielo pierde intensidad y pasa primero a un malva acuoso y después a gris.

Hace diez días, durante el solsticio de invierno, contemplé este mismo movimiento de la luz del sol. La frontera entre oscuridad y luz que iba subiendo por la ladera opuesta del bosque reclamaba toda mi atención, y su ascensión a la montaña culminó en el momento en que la sombra coronó la cima y la luz intensa desapareció. En el mismo instante en que la línea de sombra llegaba al horizonte, unos coyotes ocultos en la ladera del bosque, un poco más hacia el este, empezaron a aullar. Ladraron y gimieron durante medio minuto y después se quedaron en silencio. La sincronización del coro parecía demasiado precisa para ser una coincidencia, ya que se hizo oír en el instante en que el sol se ocultó. Puede que ambos, coyotes y seres humanos, contempláramos el espectáculo luminoso de la ladera de la montaña y nos conmoviera la desaparición del sol. Sabemos que el comportamiento aullador de los coyotes es sensible tanto a la luz del sol como a las fases lunares, de modo que no es descabellado suponer que estos animales puedan gemir algunas veces ante una puesta de sol.

En este atardecer los coyotes están callados o ausentes y observo la luz cambiante sin su compañía. Sin embargo, el bosque no guarda silencio. Los pájaros se hacen oír especialmente, quizá animados por la temperatura diurna, bien instalada en los grados positivos. Los chochines y los pájaros carpinteros cotorrean mientras se dirigen a los nidos, picando y chirriando a medida que la oscuridad se hace más densa. Cuando el sol se ha hundido bastante más abajo del horizonte y las aves inquietas se han tranquilizado, un carabo norteamericano ulula desde lo alto de un árbol justo un poco más abajo de la ladera. El carabo repite sus gritos ahogados una docena o más de veces; tal vez llama a una pareja, ya que el cortejo de la especie se produce en invierno.

Después de que el carabo se quede en silencio, el bosque entra en un sosiego más profundo del que recuerdo haber experimentado aquí. No cantan los pájaros ni los insectos. El viento está en calma. Los ruidos de la actividad humana, las carreteras o los aviones lejanos, desaparecen. El leve murmullo de un arroyo hacia el este es el único ruido que detecto. Pasan diez minutos en esta calma particular. Entonces vuelve a soplar el viento, que arranca un silbido de las copas de los árboles. Se oye el rumor de un avión que vuela alto y desde el valle llega el eco del martilleo amortiguado de una granja distante. El silencio a mi alrededor hace que cualquier ruido se vuelva más intenso.

El horizonte pierde su color y luminosidad, y se vuelve de un azul oscuro. En el cielo brilla a poca altura la luna, que tiene el vientre hinchado y ocupa tres cuartas partes del disco. A medida que el bosque se va convirtiendo en sombra, la vista ya no me sirve.

En la oscuridad del cielo se van encendiendo lentamente las estrellas. La energía del día se desvanece, y eso me relaja. De repente –¡zas!– me atraviesa una cuchilla. Miedo. Los coyotes rompen la calma. Están cerca, más cerca de lo que nunca han estado. Aúllan enloquecidos a apenas unos metros de distancia. Forman un *crescendo* sonoro de chillidos y silbidos que se sobreponen al ladrar gutural. La mente se transforma de inmediato.

Todos los pensamientos se concentran en la cuchilla: me van a descuartizar unos perros salvajes. ¡Demonios, cómo ladran!

Todo esto en unos pocos segundos. Entonces la mente consciente se vuelve a imponer, y antes de que el coro se termine me he sacado la cuchilla. No hay ninguna posibilidad de que estos coyotes me molesten. Más bien he tenido suerte de que no hayan detectado mi olor, ya que de lo contrario no se habrían acercado tanto. El miedo se me pasa rápido. Sin embargo, por un momento el cuerpo ha recordado antiguas lecciones. El recuerdo concentrado de cientos de millones de años de vida cazadora me ha estallado en la mente con una claridad asombrosa.

El coro de los coyotes se extiende hacia el fondo del valle a lo largo de kilómetros, al sumarse los perros de granja de los graneros y campos lejanos. Los años de selección también han dado forma a la mente de los perros, a los que nuestros antepasados agrícolas animaron a ladrar sin cesar si oían los aullidos de sus parientes salvajes. Ningún coyote ni lobo se atrevería a adentrarse donde suena una cacofonía de perros de granja, y ese miedo ofrece una protección acústica al ganado vulnerable. Así pues, a los seres humanos, los cánidos salvajes y los perros domésticos la evolución nos ha unido en una maraña sonora. Fuera del bosque, esa imbricación se pone de manifiesto en las sirenas de los vehículos de emergencia, que llaman nuestra atención gimiendo como superlobos, aprovechando así los miedos ancestrales de la humanidad. Los perros domésticos también oyen ese viejo eco y aúllan a las ambulancias que pasan. El bosque nos sigue por lo tanto en la civilización, enterrado en nuestra psique.

Los aullidos se terminan tan abruptamente como empezaron. Ando a ciegas en la oscuridad, y las pisadas de los coyotes son silenciosas, así que no hay manera de saber si los animales se han marchado ni cómo. Lo más probable es que se escabullan para entregarse a sus actividades nocturnas, cazar animales pequeños, y que sus miedos fundamentados les aconsejen dar un amplio rodeo ante cualquier ser humano.

El silencio vuelve al mandala. Me dejo llevar por el momento y tengo una sensación familiar de llegada. La práctica de regresar al mandala y estar sentado en silencio durante cientos de horas ha hecho caer algunas barreras entre el bosque y mis sentidos, intelecto y emociones. Puedo estar presente de una forma que no sabía que existía.

A pesar de este sentimiento de pertenencia, mi relación con este lugar no es obvia. Siento a la vez una honda proximidad y una distancia inefable. A medida que he ido conociendo el mandala, me he dado cuenta de mi parentesco evolutivo y ecológico con el bosque. Tengo la sensación de que ese conocimiento está tejido en mi cuerpo y me rehace o, más exactamente, me da la capacidad de ver cómo he sido hecho.

Al mismo tiempo, he desarrollado una sensación igualmente intensa de otredad. A medida que observaba, he tomado conciencia de la enormidad de mi ignorancia. Incluso la simple enumeración e identificación de los habitantes del mandala se encuentran muy lejos de mis posibilidades. Comprender sus vidas y relaciones de una manera que vaya más allá de lo fragmentario es prácticamente imposible. Cuanto más observo, más me alejo de la esperanza de entender el mandala, de captar su naturaleza más básica.

Sin embargo, esa separación que siento no es solo una conciencia más clara de mi ignorancia. Alguna parte profunda de mí ha entendido que aquí no soy necesario, ni tampoco lo es la humanidad en su conjunto. Hay soledad en esa comprensión y algo conmovedor en mi irrelevancia.

No obstante, también tengo una sensación de alegría, inefable pero intensa, ante la independencia de la vida del mandala. Me di cuenta de ello hace varias semanas al adentrarme en el bosque. Un pico velloso se posó en el tronco de un árbol y lanzó su reclamo. Me impresionó la otredad de ese pájaro. He ahí un animal cuya especie había cotorreado reclamos de pájaro carpintero durante millones de años antes de que aparecieran los seres humanos. Su existencia cotidiana está llena de pedazos de corteza, escarabajos escondidos y el sonido de sus vecinos pájaros carpinteros: otro mundo que

discurre en paralelo al mío. En un mandala existen millones de mundos paralelos de ese tipo.

De alguna forma, la conmoción del distanciamiento me inundó de alivio. El mundo no gira en torno a mí o a mi especie. El centro causal del mundo natural es un lugar en cuya conformación no participamos los seres humanos. La vida nos trasciende. Dirige nuestra mirada hacia fuera. El vuelo del pájaro carpintero me hizo sentir humilde y fortalecido al mismo tiempo.

Así que sigo observando el mandala, del que soy tan ajeno como pariente. El resplandor de la luna baña el bosque con una luz tenue y plateada. Mientras la vista se me acostumbra a la noche, veo mi sombra a la luz de la luna, proyectada en el círculo de hojas.

EPÍLOGO

Es un lugar común que los naturalistas contemporáneos lamenten la creciente desconexión de nuestra cultura con el mundo natural. Puedo entender esa queja, al menos en parte. Si a los alumnos de primero de carrera se les pide que identifiquen veinte logos corporativos y veinte especies comunes de nuestra región, saben sistemáticamente el nombre de la mayoría de símbolos corporativos y casi ninguno del de las especies. Lo mismo valdría para la mayor parte de gente de nuestra cultura.

Sin embargo, no se trata de una lamentación nueva. Carlos Linneo, uno de los fundadores de la ecología y la taxonomía modernas, escribió sobre los conocimientos de botánica de sus compatriotas del siglo XVIII: "Pocos ojos ven, y pocas mentes comprenden. El mundo sufre una inmensa pérdida por esa falta de observación y conocimiento". Mucho después, Aldo Leopold, al reflexionar sobre el estado de cosas en la década de 1940, escribió: "El verdadero hombre moderno está separado de la tierra por muchos intermediarios y aparatos. No tiene una relación vital con ella […] Suélteselo todo un día en la naturaleza, y si el lugar no es un campo de golf o una 'zona pintoresca', se aburrirá como una ostra". Se diría que a los naturalistas profesionales siempre les ha parecido que su cultura estaba peligrosamente cerca de perder el último hilo que la conectaba a la tierra.

Me identifico con las palabras de ambos, aunque también creo que en cierto sentido ahora vivimos tiempos mejores para los naturalistas. El interés por la comunidad de la vida está más generalizado y es más fuerte ahora que en las últimas décadas o quizá siglos. La preocupación por el futuro de los ecosistemas forma parte de nuestro discurso político nacional e internacional. En menos de lo que dura una vida humana, los campos de la ecología, la

educación medioambiental y las ciencias medioambientales han pasado de insignificantes a importantes, y la cuestión de cómo poner remedio a nuestra desconexión de la naturaleza se ha convertido en un tema recurrente de los pedagogos reformistas. Puede que todo este interés sea algo nuevo y esperanzador. En los días de Linneo y Leopold, ni la imaginación popular ni el gobierno estaban demasiado preocupados por la ecología de las demás especies. Claro que nuestro interés moderno viene impuesto en parte por el desastre ecológico que nos legó la despreocupación de nuestros antepasados, pero pienso que también está motivado por el interés genuino en otras formas de vida y la inquietud por su bienestar.

El mundo moderno ofrece muchas distracciones y barreras al naturalista, pero al mismo tiempo le proporciona un abanico espectacular de herramientas útiles. Si Gilbert White, el autor dieciochesco de la clásica *Historia natural de Selborne*, hubiera contado con una colección de guías de campo rigurosas, un ordenador con acceso a las fotografías de las flores y al croar de las ranas, y una base de datos de los artículos científicos más recientes, sus atentas observaciones de la naturaleza podrían haberse enriquecido al reducirse su soledad intelectual y brindársele una comprensión más profunda del medio ambiente. Desde luego, también habría podido desperdiciar su curiosidad en mundos virtuales *online*, pero la cuestión es que hoy en día disponemos de muchos más recursos para los interesados en la historia natural de los que nunca hemos tenido.

Es con esta ayuda como he explorado el mandala del bosque. Espero que este libro anime a otros a empezar sus propias exploraciones. Yo he tenido la suerte de poder observar un pedacito de bosque primario. Se trata de un privilegio poco común, ya que los bosques primarios ocupan menos de la mitad de un punto porcentual de la superficie en el este de Estados Unidos. Sin embargo, este tipo de bosques no son la única ventana a la ecología del mundo. De hecho, a partir de mi observación del mandala, me he dado cuenta de que creamos lugares maravillosos al prestarles

atención, no al descubrir lugares "inmaculados" que nos maravillen. Jardines, árboles urbanos, el cielo, campos, bosques jóvenes, una bandada de gorriones de las afueras de una ciudad… todos ellos son mandalas. Observarlos atentamente es tan provechoso como observar un bosque antiguo.

Todos tenemos formas de aprender distintas, así que tal vez sea impertinente que sugiera cómo observar esos mandalas. Sin embargo, me parece que vale la pena compartir con las personas que quieran intentarlo dos ideas surgidas de mi experiencia. La primera es olvidarse de las expectativas. Esperar emoción, belleza, violencia, iluminación o comunión se interpone en el camino de una observación nítida y empaña la mente de inquietud. Solo hay que esperar que los sentidos estén abiertos con entusiasmo.

La segunda sugerencia es inspirarse en la práctica de la meditación y centrar la mente todas las veces que haga falta en el momento presente. La atención se desvía sin cesar y es preciso devolverla con delicadeza a su sitio. Una y otra vez, hay que buscar los detalles sensoriales: las particularidades del ambiente sonoro, la sensación y el olor del lugar, las complejidades visuales. Esta práctica no es ardua, pero sí exige unos actos deliberados de la voluntad.

La propia capacidad introspectiva de nuestra mente es una gran profesora de historia natural. Gracias a ella aprendemos que "la naturaleza" no es un lugar aparte. Nosotros también somos animales, primates con un contexto ecológico y evolutivo denso. Si prestamos atención, ese animal interior puede observarse en cualquier momento: el vivo interés que despiertan en nosotros la fruta, la carne, el azúcar y la sal; la obsesión por las jerarquías sociales, los clanes y las redes; la fascinación por la estética de la piel, los cabellos y las formas corporales humanas; la curiosidad y ambición intelectuales constantes. Cada uno de nosotros vive en un mandala singular dotado de tanta complejidad y profundidad como un bosque primario. Es más, observarnos a nosotros y observar el mundo no son cosas opuestas; al observar el bosque, he llegado a verme con más claridad a mí mismo.

Uno de los rasgos que descubrimos al contemplarnos a nosotros mismos es la afinidad por el mundo que nos rodea. El deseo de poner nombre, entender y disfrutar del resto de la comunidad de la vida es parte de nuestra humanidad. La observación tranquila de mandalas vivos ofrece una manera de redescubrir y desarrollar esa herencia.

AGRADECIMIENTOS

El mandala se encuentra en una finca propiedad de la University of the South en Sewanee (Tennessee). Sin el trabajo de las varias generaciones que han cuidado de esa tierra, este libro no habría sido posible. Los colegas de la universidad crean un contexto agradable y estimulante en el que trabajar. En concreto, Nancy Berner, Jon Evans, Ann Fraser, John Fraser, Deborah McGrath, John Palisano, Jim Peters, Bran Potter, George Ramseur, Jean Yeatman, Harry Yeatman y Kirk Zigler resolvieron mis dudas sobre algunos temas tratados en el libro. De Jim Peters también he aprendido mucho sobre la naturaleza de la ciencia, especialmente a través de la clase de ecología y ética que impartimos juntos. Las conversaciones con Sid Brown y Tom Ward me ayudaron a situar mi experiencia de la práctica contemplativa en un contexto más amplio y coherente. El amable personal de la Biblioteca DuPont y sus excelentes fondos hicieron de la investigación para el libro un placer. Los extraordinarios alumnos de Sewanee son un estímulo y me infunden confianza en el futuro de la biología y el estudio de la historia natural.

Las caminatas en el bosque con muchos naturalistas de la zona han ampliado considerablemente mi conocimiento de la historia natural de nuestra región. En especial, Joseph Bordley, Sanford McGee y David Withers han compartido conmigo su saber a lo largo de los años.

Bill Hamilton, Stephen Kearsey, Beth Okamura y Andrew Pomiankowski de la universidad de Oxford; y Chris Clark, Steve Emlen, Rick Harrison, Robert Johnston, Amy McCune, Carol McFadden, Bobbi Peckarsky, Kern Reeve, Paul Sherman y David Winkler de la Cornell University fueron mentores particularmente

generosos e importantes durante mis años de formación universitaria.

Los compañeros del taller de escritura Wildbranch en el Sterling College me ayudaron a crecer como escritor y como naturalista. Quiero dar las gracias especialmente a Tony Cross, Alison Hawthorne Deming, Jennifer Sahn y Holly Wren Spaulding por sus consejos y su ejemplo.

Las primeras versiones del manuscrito mejoraron con las sugerencias editoriales de John Gatta, Jean Haskell, George Haskell y Jack Macrae. Una versión modificada del capítulo "La medicina" se publicó en *Whole Terrain* y se benefició del trabajo de Annie Jacobs y su consejo editorial. Los comentarios de los sagaces lectores de la edición en rústica –Jim Fordice y Andy Luk– hicieron más precisos dos pasajes del libro. Henry Hammam fue generoso con su tiempo, comentarios y conexiones en un momento crítico del desarrollo del libro.

Alice Martell es una agente extraordinaria. Sus acertadas orientaciones significaron un importante estímulo y su espléndido trabajo llevó a buen término este proyecto. La perspicaz dirección editorial de Kevin Doughten dotó de coherencia y fuerza al manuscrito. Su dedicación como "pastor", embajador y defensor del libro ha sido excepcional.

He contraído una inmensa deuda intelectual con los miles de naturalistas cuyos estudios científicos me han ayudado a profundizar en la comprensión de la biología. Espero que este libro haga honor a su importante trabajo. En mi exposición he tenido que prescindir de los detalles de muchos estudios y me he centrado en las partes que afectaban más directamente a lo que experimentaba en el mandala o que resultaban útiles para explicar alguna idea de biología. Renunciar al detalle tiene sus riesgos, especialmente en las ciencias, así que animo a los lectores a sumergirse en la bibliografía que indico, e incluso más allá de ella, y a explorar la complejidad de los temas tratados en el libro.

Sarah Vance respaldó el proyecto con gran generosidad y criterio. Sus críticas científicas, consejos editoriales y ayuda en la preparación

del manuscrito no solo hicieron posible el libro, sino que aumentaron significativamente su calidad.

Este libro celebra la vida de los bosques, de modo que donaré como mínimo la mitad de los beneficios que obtenga como autor a proyectos en favor de su conservación.

BIBLIOGRAFÍA

PRÓLOGO

Bentley, G. E., ed., *William Blake: Selected Poems*, Londres, Penguin, 2005.

1 DE ENERO—ASOCIACIONES

Giles, H. A., trad. y ed., *Chuang Tzü*, Londres, Unwin Paperbacks, 1926, 2ª ed., reimpr. 1980.

Hale, M. E., *The Biology of Lichens*, Londres, Edward Arnold, 1983, 3ª ed.

Hanelt, B., y J. Janovy, "The life cycle of a horsehair worm, Gordius robustus (Nematomorpha: Gordioidea)", *Journal of Parasitology* 85, 1999, pp. 139–141.

Hanelt, B., L. E. Grother, y J. Janovy, "Physid snails as sentinels of freshwater nematomorphs", *Journal of Parasitology* 87, 2001, pp. 1049–1053.

Nash, T. H., III, ed., *Lichen Biology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996.

Purvis, W., *Lichens*, Washington, DC, Smithsonian Institution Press, 2000.

Rivera, M. C., y J. A. Lake, "The ring of life provides evidence for a genome fusion origin of eukaryotes", *Nature* 431, 2004, pp. 152–155.

Thomas, F., A. Schmidt-Rhaesa, G. Martin, C. Manu, P. Durand, y F. Renaud, "Do hairworms (Nematomorpha) manipulate the water

seeking behaviour of their terrestrial hosts?", *Journal of Evolutionary Biology* 15, 2002, pp. 356–361.

17 de enero—El regalo de Kepler

Kepler, J., *The Six-Cornered Snowflake*, 1661, traducción y comentarios de C. Hardie, B. J. Mason, y L. L. Whyte, Oxford, Clarendon Press, 1966.

Libbrecht, K. G., "A Snow Crystal Primer", Pasadena, California Institute of Technology, 1999. www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/primer/primer.htm.

Meinel, C., "Early seventeenth-century atomism: theory, epistemology, and the insufficiency of experiment", Isis 79, 1988, pp. 68–103.

21 DE ENERO—EL EXPERIMENTO

Cimprich, D. A., y T. C. Grubb, "Consequences for Carolina Chickadees of foraging with Tufted Titmice in winter", *Ecology* 75, 1994, pp. 1615–1625.

Cooper, S. J., y D. L. Swanson, "Seasonal acclimatization of thermoregulation in the Black-capped Chickadee", *Condor* 96, 1994, pp. 638–646.

Doherty, P. F., J. B. Williams, y T. C. Grubb, "Field metabolism and water flux of Carolina Chickadees during breeding and nonbreeding seasons: A test of the 'peak-demand' and 'reallocation' hypotheses", *Condor* 103, 2001, pp. 370–375.

Gill, F. B., *Ornithology*, Nueva York, W. H. Freeman, 2007, 3ª ed.

Grubb, T. C., Jr., y V. V. Pravasudov, "Tufted Titmouse *(Baeolophus bicolor)*," *The Birds of North America Online* (A. Poole, ed.), Ithaca, NY, Cornell Lab of Ornithology, 1994; doi:10.2173/bna.86.

Honkavaara, J., M. Koivula, E. Korpimäki, H. Siitari, y J. Viitala, "Ultraviolet vision and foraging in terrestrial vertebrates", *Oikos*

98, 2002, pp. 505–511.

Karasov, W. H., M. C. Brittingham, y S. A. Temple, "Daily energy and expenditure by Black-capped Chickadees *(Parus atricapillus)* in winter", Auk 109, 1992, pp. 393–395.

Marchand, P. J., *Life in the Cold*, Hanover, NH, University Press of New England, 1991, 2ª ed.

Mostrom, A. M., R. L. Curry, y B. Lohr, "Carolina Chickadee (Poecile carolinensis)", *The Birds of North America Online*, 2002. doi:10.2173/bna.636.

Norberg, R. A, "Energy content of some spiders and insects on branches of spruce *(Picea abies)* in winter: prey of certain passerine birds", *Oikos* 31, 1978, pp. 222–229.

Pravosudov, V. V., T. C. Grubb, P. F. Doherty, C. L. Bronson, E. V. Pravosudova, y A. S. Dolby, "Social dominance and energy reserves in wintering woodland birds", *Condor* 101, 1999, pp. 880–884.

Saarela, S., B. Klapper, y G. Heldmaier, "Daily rhythm of oxygen-consumption and thermoregulatory responses in some European winter-acclimatized or summer-acclimatized finches at different ambient-temperatures", *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systems, and Environmental Physiology* 165, 1995, pp. 366–376.

Swanson, D. L., y E. T. Liknes, "A comparative analysis of thermogenic capacity and cold tolerance in small birds", *Journal of Experimental Biology* 209, 2006, pp. 466–474.

Whittow, G. C., ed., Sturkie's Avian Physiology, San Diego, Academic Press, 2000, 5ª ed.

30 DE ENERO—PLANTAS DE INVIERNO

Fenner, M., y K. Thompson, *The Ecology of Seeds*, Cambridge, Cambridge University Press, 2005.

Lambers, H., F. S. Chapin, y T. L. Pons, *Plant Physiological Ecology*, Berlín, Springer-Verlag, 1998.

Sakai, A., y W. Larcher, *Frost Survival of Plants: Responses and Adaptation to Freezing Stress*, Berlín, Springer-Verlag, 1987.

Taiz, L., y E. Zeiger, *Plant Physiology*, Sunderland, MA, Sinauer Associates, 2002, 3ª ed.

2 DE FEBRERO—UNAS HUELLAS

Allen, J. A., *History of the American Bison*, Washington, DC, U.S. Department of the Interior, 1877.

Barlow, C., "Anachronistic fruits and the ghosts who haunt them", *Arnoldia* 61, 2001, pp. 14–21.

Clarke, R. T. J., y T. Bauchop, eds., *Microbial Ecology of the Gut*, Nueva York, Aca¬demic Press, 1977.

Delcourt, H. R., y P. A. Delcourt, "Eastern deciduous forests", en *North American Terrestrial Vegetation*, M. G. Barbour y W. D. Billings, eds., Cambridge, Cambridge University Press, 2000, 2ª ed, pp. 357–395.

Gill, J. L., J. W. Williams, S. T. Jackson, K. B. Lininger, y G. S. Robinson, "Pleistocene megafaunal collapse, novel plant communities, and enhanced fire regimes in North America", *Science* 326, 2009, pp. 1100–1103.

Graham, R. W, "Pleistocene tapir from Hill Top Cave, Trigg County, Kentucky, and a review of Plio-Pleistocene tapirs of North America and their paleoecology", en *Ice Age Cave Faunas of North America*, B. W. Schubert, J. I. Mead, y R. W. Graham, eds., Bloomington, Indiana University Press, 2003, pp. 87–118.

Harriot, T., *A Briefe and True Report of the New Found Land of Virginia*, Nueva York, Dover Publications, 1588, reimpr. 1972.

Hicks, D. J., y B. F. Chabot, "Deciduous forest", en *Physiological Ecology of North American Plant Communities*, B. F. Chabot y H.

A. Mooney, eds., Nueva York, Chapman and Hall, 1985, pp. 257–277.

Hobson, P. N., ed., *The Rumen Microbial Ecosystem*, Barking, UK, Elsevier Science Publishers, 1988.

Lange, I. M., *Ice Age Mammals of North America: A Guide to the Big, the Hairy, and the Bizarre*, Missoula, MT, Mountain Press, 2002.

Martin, P. S., y R. G. Klein, *Quaternary Extinctions*, Tucson, University of Arizona Press, 1984.

McDonald, H. G., "Sloth remains from North American caves and associated karst features", en *Ice Age Cave Faunas of North America*, B. W. Schubert, J. I. Mead, y R. W. Graham, eds., Bloomington, Indiana University Press, 2003, pp. 1–16.

Salley, A. S., ed., *Narratives of Early Carolina*, 1650–1708, Nueva York, Scribner's Sons, 1911.

16 DE FEBRERO—EL MUSGO

Bateman, R. M., P. R. Crane, W. A. DiMichele, P. R. Kendrick, N. P. Rowe, T. Speck, y W. E. Stein, "Early evolution of land plants: phylogeny, physiology, and ecology of the primary terrestrial radiation", *Annual Review of Ecology and Systematics* 29, 1998, pp. 263–292.

Conrad, H. S., *How to Know the Mosses and Liverworts*, Dubuque, IA, W. C. Brown, 1956.

Goffinet, B., y A. J. Shaw, eds., *Bryophyte Biology*, Cambridge, Cambridge University Press, 2009, 2ª ed.

Qiu, Y.-L., L. Li, B. Wang, Z. Chen, V. Knoop, M. Groth-Malonek, O. Dombrovska, J. Lee, L. Kent, J. Rest, G. F. Estabrook, T. A. Hendry, D. W. Taylor, C. M. Testa, M. Ambros, B. Crandall-Stotler, R. J. Duff, M. Stech, W. Frey, D. Quandt, y C. C. Davis, "The deepest divergences in land plants inferred from phylogenomic

evidence", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 103, 2006, pp. 15511–15516.

Qiu Y.-L., L. B. Li, B. Wang, Z. D. Chen, O. Dombrovska, J. J. Lee, L. Kent, R. Q. Li, R. W. Jobson, T. A. Hendry, D. W. Taylor, C. M. Testa, y M. Ambros, "A nonflowering land plant phylogeny inferred from nucleotide sequences of seven chloroplast, mitochondrial, and nuclear genes", *International Journal of Plant Sciences* 168, 2007, pp. 691–708.

Richardson, D. H. S., *The Biology of Mosses*, Nueva York, John Wiley and Sons, 1981.

28 DE FEBRERO—LA SALAMANDRA

Duellman, W. E., y L. Trueb, *Biology of Amphibians*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1994.

Milanovich, J. R., W. E. Peterman, N. P. Nibbelink, y J. C. Maerz, "Projected loss of a salamander diversity hotspot as a consequence of projected global climate change", 2010, *PLoS ONE* 5: e12189. doi:10.1371/journal.pone.0012189.

Petranka, J. W, *Salamanders of the United States and Canada*, Washington, DC, Smithsonian Institution Press, 1998.

Petranka, J. W., M. E. Eldridge, y K. E. Haley, "Effects of timber harvesting on Southern Appalachian salamanders", CONSERVATION BIOLOGY 7, 1993, pp. 363–370.

Ruben, J. A., y A. J. Boucot, "The origin of the lungless salamanders (Amphibia: Plethodontidae)", AMERICAN NATURALIST 134, 1989, pp. 161–169.

Stebbins, R. C., y N. W. Cohen, *A Natural History of Amphibians*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1995.

Vieites, D. R., M.-S. Min, y D. B. Wake, "Rapid diversification and dispersal during periods of global warming by plethodontid

salamanders", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 104, 2007, pp. 19903–19907.

13 DE MARZO—'HEPATICA'

Bennett, B. C., "Doctrine of Signatures: an explanation of medicinal plant discovery or dissemination of knowledge?" *Economic Botany* 61, 2007, pp. 246–255.

Hartman, F., *The Life and Doctrine of Jacob Boehme*, Nueva York, Macoy, 1929.

McGrew, R. E., *Encyclopedia of Medical History*, Nueva York, McGraw-Hill, 1985.

13 DE MARZO—CARACOLES

Chase, R., *Behavior and Its Neural Control in Gastropod Molluscs*, Oxford, Oxford University Press, 2002.

25 DE MARZO—LAS EFÍMERAS PRIMAVERALES

Choe, J. C., y B. J. Crespi, *The Evolution of Social Behavior in Insects and Arachnids*, Cambridge, Cambridge University Press, 1997.

Curran, C. H., *The Families and Genera of North American Diptera*, Woodhaven, NY, Henry Tripp, 1965.

Motten, A. F, "Pollination ecology of the spring wildflower community of a temperate deciduous forest", *Ecological Monograph*s 56, 1986, pp. 21–42.

Sun, G., Q. Ji, D. L. Dilcher, S. Zheng, K. C. Nixon, y X. Wang, "Archaefructaceae, a new basal Angiosperm family", *Science* 296, 2002, pp. 899–904.

Wilson, D. E., y S. Ruff, *The Smithsonian Book of North American Mammals*, Washington, DC, Smithsonian Institution Press, 1999.

2 DE ABRIL—LA MOTOSIERRA

Duffy, D. C., y A. J Meier, "Do Appalachian herbaceous understories ever recover from clear-cutting?" *Conservation Biology* 6, 1992, pp. 196–201.

Haskell, D. G., J. P. Evans, y N. W. Pelkey, "Depauperate avifauna in plantations compared to forests and exurban areas", 2006, *PLoS ONE* 1: e63. doi:10.1371/journal.pone.0000063.

Meier, A. J., S. P. Bratton, y D. C. Duffy, "Possible ecological mechanisms for loss of vernal-herb diversity in logged eastern deciduous forests", *Ecological Applications* 5, 1995, pp. 935–946.

Perez-Garcia, J., B. Lippke, J. Comnick, y C. Manriquez, "An assessment of carbon pools, storage, and wood products market substitution using life-cycle analysis results", *Wood and Fiber Science* 37, 2005, pp. 140–148.

Prestemon, J. P., y R. C. Abt, "Timber products supply and demand", cap. 13 de Southern Forest Resource Assessment, D. N. Wear y J. G. Greis, eds., General Technical Report SRS-53, U.S. Department of Agriculture, Asheville, NC, Forest Service, Southern Research Station, 2002.

Scharai-Rad, M., y J. Welling, "Environmental and energy balances of wood products and substitutes", Roma, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2002. www.fao.org/docrep/004/y3609e/y3609e00.HTM.

Yarnell, S., *The Southern Appalachians: A History of the Landscape, General Technical Report SRS-18*, U.S. Department of

Agriculture, Asheville, NC, Forest Service, Southern Research Station, 1998.

2 DE ABRIL—FLORES

Fenster, C. B., W. S Armbruster, P. Wilson, M. R. Dudash, y J. D. Thomson, "Pollination syndromes and floral specialization", *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35, 2004, pp. 375–403.

Fosket, D. E., *Plant Growth and Development: A Molecular Approach*, San Diego, Academic Press, 1994.

Snow, A. A., y T. P. Spira, "Pollen vigor and the potential for sexual selection in plants", *Nature* 352, 1991, pp. 796–797.

Walsh, N. E., y D. Charlesworth, "Evolutionary interpretations of differences in pollen-tube growth-rates", *Quarterly Review of Biology* 67, 1992, pp. 19–37.

8 DE ABRIL—EL XILEMA

Ennos, R., Trees, Washington, DC, Smithsonian Institution Press, 2001.

Hacke, U. G., y J. S. Sperry, "Functional and ecological xylem anatomy", *Perspectives in Plant Ecology*, Evolution and Systematics 4, 2001, pp. 97–115.

Sperry, J. S., J. R. Donnelly, y M. T. Tyree, "Seasonal occurrence of xylem embolism in sugar maple *(Acer saccharum)*", *American Journal of Botany* 75, 1988, pp. 1212–1218.

Tyree, M. T., y M. H. Zimmermann, *Xylem Structure and the Ascent of Sap*, Berlin, Springer-Verlag, 2002, 2ª ed.

14 DE ABRIL—LA MARIPOSA NOCTURNA

Smedley, S. R., y T. Eisner, "Sodium: a male moth's gift to its offspring", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 93, 1996, pp. 809–813.

Young, M., *The Natural History of Moths*, Londres, T. y A. D. Poyser, 1997.

16 DE ABRIL—AVES AL AMANECER

Pedrotti, F. L., L. S. Pedrotti, y L. M. Pedrotti, *Introduction to Optics*, Upper Saddle River, NJ, Pearson Prentice Hall, 2007, 3ª ed.

Wiley, R. H., y D. G. Richards, "Physical constraints on acoustic communication in the atmosphere: implications for the evolution of animal vocalizations", *Behavioral Ecology and Sociobiology* 3, 1978, pp. 69–94.

22 DE ABRIL—SEMILLAS ANDANTES

Beattie, A., y D. C. Culver, "The guild of myrmecochores in a herbaceous flora of West Virginia forests", *Ecology* 62, 1981, pp. 107–115.

Cain, M. L., H. Damman, y A. Muir, "Seed dispersal and the holocene migration of woodland herbs", *Ecological Monographs* 68, 1998, pp. 325–347.

Clark, J. S., "Why trees migrate so fast: confronting theory with dispersal biology and the paleorecord", *American Naturalist* 152, 1998, pp. 204–224.

Ness, J. H., "Forest edges and fire ants alter the seed shadow of an ant-dispersed plant", *Oecologia* 138, 2004, pp. 448–454.

Smith, B. H., P. D. Forman, y A. E. Boyd, "Spatial patterns of seed dispersal and predation of two myrmecochorous forest herbs", *Ecology* 70, 1989, pp. 1649–1656.

Vellend, M., Myers, J. A., Gardescu, S., y P. L. Marks, "Dispersal of Trillium seeds by deer: implications for long-distance migration of forest herbs", *Ecology* 84, 2003, pp. 1067–1072.

29 DE ABRIL—EL TERREMOTO

U.S. Geological Survey, Earthquake Hazards Program, "Magnitude 4.6 Alabama." http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2003/eq_030429/.

7 DE MAYO—EL VIENTO

Ennos, A. R., "Wind as an ecological factor", *Trends in Ecology and Evolution* 12, 1997, pp. 108–111.

Vogel, S., "Drag and reconfiguration of broad leaves in high winds", *Journal of Experimental Botany* 40, 1989, pp. 941–948.

18 DE MAYO—LA HERBIVORÍA

Ananthakrishnan, T. N., y A. Raman, *Chemical Ecology of Phytophagous Insects*, Nueva York, International Science Publisher, 1993.

Chown, S. L., y S. W. Nicolson, *Insect Physiological Ecology*, Oxford, Oxford University Press, 2004.

Hartley, S. E., y C. G. Jones, "Plant chemistry and herbivory, or why the world is green", en *Plant Ecology*, M. J. Crawley, ed., Oxford,

Blackwell Pub¬lishing, 2009.

Nation, J. L., *Insect Physiology and Biochemistry*, Boca Raton, FL, CRC Press, 2008.

Waldbauer, G., *What Good Are Bugs?: Insects in the Web of Life*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 1993.

25 DE MAYO—ONDULACIONES

Clements, A. N., *The Biology of Mosquitoes: Development, Nutrition, and Reproduction*, Londres, Chapman and Hall, 1992.

Hames, R. S., K. V. Rosenberg, J. D. Lowe, S. E. Barker, y A. A. Dhondt, "Adverse effects of acid rain on the distribution of Wood Thrush Hylocichla mustelina in North America", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 99, 2002, pp. 11235–11240.

Spielman, A., y M. D'Antonio, *Mosquito: A Natural History of Our Most Persistent and Deadly Foe*, Nueva York, Hyperion, 2001.

Whittow, G. C., ed., *Sturkie's Avian Physiology*, San Diego, Academic Press, 2000, 5ª ed.

2 DE JUNIO—LA BÚSQUEDA

Klompen, H., y D. Grimaldi, "First Mesozoic record of a parasitiform mite: a larval Argasid tick in Cretaceous amber (Acari: Ixodida: Argasidae)", *Annals of the Entomological Society of America* 94, 2001, pp. 10–15.

Sonenshine, D. E., *Biology of Ticks*, Oxford, Oxford University Press, 1991.

10 DE JUNIO—HELECHOS

Schneider, H., E. Schuettpelz, K. M. Pryer, R. Cranfill, S. Magallon, y R. Lupia, "Ferns diversified in the shadow of angiosperms", *Nature* 428, 2004, pp. 553–557.

Smith, A. R., K. M. Pryer, E. Schuettpelz, P. Korall, H. Schneider, y P. G. Wolf, "A classification for extant ferns", *Taxon* 55, 2006, pp. 705–731.

20 DE JUNIO—UNA MARAÑA

Haase, M., y A. Karlsson, "Mate choice in a hermaphrodite: you won't score with a spermatophore", *Animal Behaviour* 67, 2004, pp. 287–291.

Locher, R., y B. Baur, "Mating frequency and resource allocation to male and female function in the simultaneous hermaphrodite land snail Arianta arbustorum", *Journal of Evolutionary Biology* 13, 2000, pp. 607–614.

Rogers, D. W., y R. Chase, "Determinants of paternity in the garden snail Helix aspersa", *Behavioral Ecology and Sociobiology* 52, 2002, pp. 289–295.

Webster, J. P., J. I. Hoffman, y M. A. Berdoy, "Parasite infection, host resistance and mate choice: battle of the genders in a simultaneous hermaphrodite", *Proceedings of the Royal Society*, Series B: Biological Sciences 270, 2003, pp. 1481–1485.

2 DE JULIO—HONGOS

Hurst, L. D., "Why are there only two sexes?", *Proceedings of the Royal Society*, Series B: Biological Sciences 263, 1996, pp. 415–

422.

Webster, J., y R. W. S. Weber, I*ntroduction to Fungi*, Cambridge, Cambridge University Press, 2007, 3ª ed.

Whitfield, J., "Everything you always wanted to know about sexes", 2004. PLoS Biol 2(6): e183. doi:10.1371/journal.pbio.0020183.

Xu, J., "The inheritance of organelle genes and genomes: patterns and mechanisms", *Genome* 48, 2005, pp. 951–958.

Yan, Z., y J. Xu, "Mitochondria are inherited from the MATa parent in crosses of the Basidiomycete fungus Cryptococcus neoformans", *Genetics* 163, 2003, pp. 1315–1325.

13 DE JULIO—LUCIÉRNAGAS

Eisner, T., M. A. Goetz, D. E. Hill, S. R. Smedley, y J. Meinwald, "Firefly 'femmes fatales' acquire defensive steroids (lucibufagins) from their firefly prey", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 94, 1997, pp. 9723–9728.

27 DE JULIO—UN RAYO DE SOL

Heinrich, B., *The Thermal Warriors: Strategies of Insect Survival, Cambridge*, MA, Harvard University Press, 1996.

Hull, J. C., "Photosynthetic induction dynamics to sunflecks of four deciduous forest understory herbs with different phenologies." *International Journal of Plant Sciences* 163, 2002, pp. 913–924.

Williams, W. E., H. L. Gorton, y S. M. Witiak, "Chloroplast movements in the field", *Plant Cell and Environment*, 2003, pp. 2005–2014.

1 DE AGOSTO—EL TRITÓN Y EL COYOTE

Brodie, E. D., "Investigations on the skin toxin of the Red-Spotted Newt, Notophthalmus viridescens viridescens", *American Midland Naturalist* 80, 1968, pp. 276–280.

Hampton, B., *The Great American Wolf*, Nueva York, Henry Holt and Company, 1997.

Parker, G., *Eastern Coyote: The Story of Its Success*, Halifax, Nova Scotia, Nimbus Publishing, 1995.

8 DE AGOSTO—LA ESTRELLA DE TIERRA

Hibbett, D. S., E. M. Pine, E. Langer, G. Langer, y M. J. Donoghue, "Evolution of gilled mushrooms and puffballs inferred from ribosomal DNA sequences", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 94, 1997, pp. 12002–12006.

26 DE AGOSTO—EL SALTAMONTES LONGICORNIO

Capinera, J. L., R. D. Scott, y T. J. Walker, *Field Guide to Grasshoppers, Katydids, and Crickets of the United States*, Ithaca, NY, Cornell University Press, 2004.

Gerhardt, H. C., y F. Huber, *Acoustic Communication in Insects and Anurans*, Chicago, University of Chicago Press, 2002.

Gwynne, D. T., Katydids and Bush-Crickets: Reproductive Behavior and Evolution of the Tettigoniidae, Ithaca, NY, Cornell University Press, 2001.

Rannels, S., W. Hershberger, y J. Dillon, *Songs of Crickets and Katydids of the Mid-Atlantic States*, CD audio recording, Maugansville, MD, Wil Hershberger, 1998.

21 DE SEPTIEMBRE—LA MEDICINA

Culpeper, N., *Culpeper's Complete Herbal*, Secaucus, NJ, Chartwell Books, 1653, reimpr. 1985.

Horn, D., T. Cathcart, T. E. Hemmerly, y D. Duhl, eds., *Wildflowers of Tennessee, the Ohio Valley, and the Southern Appalachians*, Auburn, WA, Lone Pine Publishing, 2005.

Lewis, W. H., y M. P. F. Elvin-Lewis, *Medical Botany: Plants Affecting Man's Health*, Nueva York, John Wiley and Sons, 1977.

Mann, R. D., *William Withering and the Foxglove*, Lancaster, UK, MTP Press, 1985.

Moerman, D. E., *Native American Ethnobotany*, Portland, OR, Timber Press, 1998.

U.S. Fish and Wildlife Service, *General Advice for the Export of Wild and Wild-Simulated American Ginseng (Panax quinquefolius) Harvested in 2009 and 2010 from States with Approved CITES Export Programs*, Washington, DC, U.S. Department of the Interior, 2009.

Vanisree, M., C.-Y. Lee, S.-F. Lo, S. M. Nalawade, C. Y. Lin, y H.-S. Tsay, "Studies on the production of some important secondary metabolites from medicinal plants by plant tissue cultures", *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 45, 2004, pp. 1–22.

23 DE SEPTIEMBRE—LA ORUGA

Heinrich, B., *Summer World: A Season of Bounty*, Nueva York, Ecco, 2009.

Heinrich, B., y S. L. Collins, "Caterpillar leaf damage, and the game of hide-and-seek with birds", *Ecology* 64, 1983, pp. 592–602.

Real, P. G., R. Iannazzi, A. C. Kamil, y B. Heinrich, "Discrimination and generalization of leaf damage by blue jays (Cyanocitta

cristata)", *Animal Learning and Behavior* 12, 1984, pp. 202–208.

Stamp, N. E., y T. M. Casey, eds., *Caterpillars: Ecological and Evolutionary Constraints on Foraging*, Londres, Chapman and Hall, 1993.

Wagner, D. L., *Caterpillars of Eastern North America: A Guide to Identification and Natural History*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 2005.

23 DE SEPTIEMBRE—EL BUITRE

Blount, J. D., D. C. Houston, A. P. Møller, y J. Wright, "Do individual branches of immune defence correlate? A comparative case study of scavenging and non-scavenging birds", *Oikos* 102, 2003, pp. 340–350.

DeVault, T. L., O. E. Rhodes, Jr., y J. A. Shivik, "Scavenging by vertebrates: behavioral, ecological, and evolutionary perspectives on an important energy trans¬fer pathway in terrestrial ecosystems" *Oikos* 102, 2003, pp. 225–234.

Kelly, N. E., D. W. Sparks, T. L. DeVault, y O. E. Rhodes, Jr., "Diet of Black and Turkey Vultures in a forested landscape", *Wilson Journal of Ornithology* 119, 2007, pp. 267–270.

Kirk, D. A., y M. J. Mossman, "Turkey Vulture *(Cathartes aura)*", The Birds of North America Online, A. Poole, ed., Ithaca, NY, Cornell Lab of Ornithology, 1998. doi:10.2173/bna.339.

Markandya, A., T. Taylor, A. Longo, M. N. Murty, S. Murty, y K. Dhavala, "Counting the cost of vulture decline—An appraisal of the human health and other benefits of vultures in India", *Ecological Economics* 67, 2008, pp. 194–204.

Powers, W., The Science of Smell, Iowa State University Extension. www.extension.iastate.edu/Publications/PM1963a.pdf.

26 DE SEPTIEMBRE—MIGRANTES

Evans Ogden, L. J., y B. J. Stutchbury, "Hooded Warbler (Wilsonia citrina)", The Birds of North America Online, A. Poole, ed., Ithaca, NY, Cornell Lab of Ornitheology, 1994. doi:10.2173/bna.110.

Hughes, J. M., "Yellow-billed Cuckoo (Coccyzus americanus)", *The Birds of North America Online*, A. Poole, ed., Ithaca, NY, Cornell Lab of Ornithology, 1999. doi:10.2173/bna.418.

Rimmer, C. C., y K. P. McFarland, "Tennessee Warbler (Vermivora peregrina)," *The Birds of North America Online*, 1998. doi:10.2173/bna.350.

5 DE OCTUBRE—OLEADA DE ALARMAS

Agrawal, A. A., "Communication between plants: this time it's real", *Trends in Ecology and Evolution* 15, 2000, p. 446.

Caro, T. M., L. Lombardo, A. W. Goldizen, y M. Kelly, "Tail-flagging and other antipredator signals in white-tailed deer: new data and synthesis", *Behavioral Ecology* 6, 1995, pp. 442–450.

Cotton, S., "Methyl jasmonate", 2001. www.chm.bris.ac.uk/motm/jasmine/jasminev.htm.

Farmer, E. E., y C. A. Ryan, "Interplant communication: airborne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 87, 1990, pp. 7713–7716.

FitzGibbon, C. D., y J. H. Fanshawe, "Stotting in Thomson's gazelles: an honest signal of condition", *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 23, 1988, pp. 69–74.

Maloof, J., "Breathe", *Conservation in Practice* 7, 2006, pp. 5–6.

14 DE OCTUBRE—UNA SÁMARA

Green, D. S., "The terminal velocity and dispersal of spinning samaras", *American Journal of Botany* 67, 1980, pp. 1218–1224.

Horn, H. S., R. Nathan, y S. R. Kaplan, "Long-distance dispersal of tree seeds by wind", *Ecological Research* 16, 2001, pp. 877–885.

Lentink, D., W. B. Dickson, J. L. van Leewen, y M. H. Dickinson, "Leading-edge vortices elevate lift of autorotating plant seeds", *Science* 324, 2009, pp. 1438–1440.

Sipe, T. W., y A. R. Linnerooth, "Intraspecific variation in samara morphology and flight behavior in Acer saccharinum (Aceraceae)", *American Journal of Botany* 82, 1995, pp. 1412–1419.

29 DE OCTUBRE–CARAS

Darwin, C., The Expression of the Emotions in Man and Animals, Chicago, *University of Chicago Press*, 1872, reimpr. 1965.

Lorenz, K., *Studies in Animal and Human Behaviour*, R. Martin, trad., Cambridge, MA, Harvard University Press, 1971.

Randall, J. A., "Evolution and function of drumming as communication in mammals", *American Zoologist* 41, 2001, pp. 1143–1156.

Todorov, A., C. P. Said, A. D. Engell, y N. N. Oosterhof, "Understanding evaluation of faces on social dimensions", *Trends in Cognitive Sciences* 12, 2008, pp. 455–460.

5 DE NOVIEMBRE—LA LUZ

Caine, N. G., D. Osorio, y N. I. Mundy, "A foraging advantage for dichromatic marmosets *(Callithrix geoffroyi)* at low light intensity" *Biology Letters* 6, 2009, pp. 36–38.

Craig, C. L., R. S. Weber, y G. D. Bernard, "Evolution of predator-prey systems: Spider foraging plasticity in response to the visual ecology of prey", *American Naturalist* 147, 1996, pp. 205–229.

Endler, J. A., "Disruptive and cryptic coloration", Proceedings of the Royal Society, *Series B: Biological Sciences* 273, 2006, pp. 2425–2426.

—. "Light, behavior, and conservation of forest dwelling organisms", en *Behavioral Approaches to Conservation in the Wild*, J. R. Clemmons y R. Buchholz, eds., Cambridge, Cambridge University Press, pp. 329–355.

King, R. B., S. Hauff, y J. B. Phillips, "Physiological color change in the green treefrog: Responses to background brightness and temperature", *Copeia*, 1994, pp. 422–432.

Merilaita, S., y J. Lind, "Background-matching and disruptive coloration, and the evolution of cryptic coloration", *Proceedings of the Royal Society*, Series B: Biological Sciences 272, 2005, pp. 665–670.

Mollon, J. D., J. K. Bowmaker, y G. H. Jacobs, "Variations of color-vision in a New World primate can be explained by polymorphism of retinal photopigments", *Proceedings of the Royal Society*, Series B: Biological Sciences 222, 1984, pp. 373–399.

Morgan, M. J., A. Adam, y J. D. Mollon, "Dichromats detect colour-camouflaged objects that are not detected by trichromats", *Proceedings of the Royal Society, Series B: Biological Sciences* 248, 1992, pp. 291–295.

Schaefer, H. M., y N. Stobbe, "Disruptive coloration provides camouflage independent of background matching", P*roceedings of the Royal Society, Series B: Biological Sciences* 273, 2006, pp. 2427–2432.

Stevens, M., I. C. Cuthill, A. M. M. Windsor, y H. J. Walker, "Disruptive contrast in animal camouflage", *Proceedings of the Royal Society, Series B: Biological Sciences* 273, 2006, pp. 2433–2438.

15 DE NOVIEMBRE—EL ESPARVERO CHICO

Bildstein, K. L., y K. Meyer, "Sharp-shinned Hawk *(Accipiter striatus)*," *The Birds of North America Online*, A. Poole, ed., Ithaca, NY, Cornell Lab of Ornitheology, 2000. doi:10.2173/bna.482.

Hughes, N. M., H. S. Neufeld, y K. O. Burkey, "Functional role of anthocyanins in high-light winter leaves of the evergreen herb *Galax urceolata*", *New Phytologist* 168, 2005, pp. 575–587.

Lin, E., *Production and Processing of Small Seeds for Birds, Agricultural and Food Engineering Technical Report* 1, Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005.

Marden, J. H., "Maximum lift production during takeoff in flying animals", *Journal of Experimental Biology* 130, 1987, pp. 235–238.

Zhang, J., G. Harbottle, C. Wang, y Z. Kong, "Oldest playable musical instruments found at Jiahu early Neolithic site in China", *Nature* 401, 1999, pp. 366–368.

21 DE NOVIEMBRE—RAMITAS

Canadell, J. G., C. Le Quere, M. R. Raupach, C. B. Field, E. T. Buitenhuis, P. Ciais, T. J. Conway, N. P. Gillett, R. A. Houghton, y G. Marland, "Contributions to accelerating atmospheric CO2 growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 104, 2007, pp. 18866–18870.

Dixon R. K., A. M. Solomon, S. Brown, R. A. Houghton, M. C. Trexier, y J. Wisniewski, "Carbon pools and flux of global forest ecosystems", *Science* 263, 1994, pp. 185–190.

Hopkins, W. G., *Introduction to Plant Physiology*, Nueva York, John Wiley and Sons, 1999, 2ª ed.

Howard, J. L., *Ailanthus altissima*, en *Fire Effects Information System*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2004. www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/ailalt/all.html.

Innes, R. J., *Paulownia tomentosa*, en *Fire Effects Information System*, 2009. www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/pautom/all.html.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, y H. L. Miller, eds., *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press, 2007.

Woodbury, P. B., J. E. Smith, y L. S. Heath, "Carbon sequestration in the U.S. forest sector from 1990 to 2010", *Forest Ecology and Management*, 241, 2007, pp. 14–27.

3 DE DICIEMBRE—LA HOJARASCA

Coleman, D. C., y D. A. Crossley, Jr., *Fundamentals of Soil Ecology*, San Diego, Academic Press, 1996.

Crawford, J. W., J. A. Harris, K. Ritz, e I. M. Young, "Towards an evolutionary ecology of life in soil", *Trends in Ecology and Evolution* 20, 2005, pp. 81–87.

Horton, T. R., y T. D. Bruns, "The molecular revolution in ectomycorrhizal ecology: peeking into the black-box", *Molecular Ecology* 10, 2001, pp. 1855–1871.

Wolfe, D. W., *Tales from the Underground: A Natural History of Subterranean Life*, Reading, MA, Perseus Publishing, 2001.

6 DE DICIEMBRE—BESTIARIO SUBTERRÁNEO

Budd, G. E., y M. J. Telford, "The origin and evolution of arthropods", Nature 457, 2009, pp. 812–817.

Hopkin, S. P., *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*, Oxford, Oxford University Press, 1997.

Regier, J. C., J. W. Shultz, A. Zwick, A. Hussey, B. Ball, R. Wetzer, J. W. Martin, y C. W. Cunningham, "Arthropod relationships revealed by phylogenomic analysis of nuclear protein-coding sequences", *Nature* 463, 2010, pp. 1079–1083.

Ruppert, E. E., R. S. Fox, y R. D. Barnes, *Invertebrate Zoology: A Functional Evolutionary Approach*, Belmont, CA, Brooks/Cole-Thomson Learning, 2004, 7ª ed.

26 DE DICIEMBRE—LAS COPAS DE LOS ÁRBOLES

Weiss, R., "Administration opens Alaska's Tongass forest to logging", *The Washington Post*, 24 de diciembre de 2003, p. A16.

31 DE DICIEMBRE—OBSERVAR

Bender, D. J., E. M. Bayne, y R. M. Brigham, "Lunar condition influences coyote *(Canis latrans)* howling", *American Midland Naturalist* 136, 1996, pp. 413–417.

Gese, E. M., y R. L. Ruff, "Howling by coyotes *(Canis latrans)*: variation among social classes, seasons, and pack sizes", *Canadian Journal of Zoology* 76, 1998, pp. 1037–1043.

EPÍLOGO

Davis, M. B., ed., *Eastern Old-Growth Forest: Prospects for Rediscovery and Recovery*, Washington, DC, Island Press, 1996.

Leopold, A., *A Sand County Almanac, and Sketches Here and There*, Nueva York, Oxford University Press, 1949.

Linneo, C. [1707–1788], citado como epigrama en Nicholas Culpeper, *The English Physician*, E. Sibly, ed., reimpr. 1800, Londres, Satcherd.

White, G., *The Natural History of Selbourne*, R. Mabey, ed., Londres, Penguin Books, 1788–89, reimpr. 1977.